



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

Estudio de Análisis de Riesgo a Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el Municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

ANDARACA FERNANDEZ RICARDO

**DIRECTOR DE TESIS:
I.Q. ISMAEL NÚÑEZ BARRÓN**

CUAUTILÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO, 2020



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
SECRETARÍA GENERAL
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

U.N.A.M.
FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES CUAUTITLÁN

ASUNTO: VOTO APROBATORIO

M. en C. JORGE ALFREDO CUÉLLAR ORDAZ
DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE

ATN: I.A. LAURA MARGARITA CORTAZAR FIGUEROA
Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales
de la FES Cuautitlán.

Con base en el Reglamento General de Exámenes, y la Dirección de la Facultad, nos permitimos comunicar a usted que revisamos el: **Trabajo de Tesis**

Estudio de Análisis de Riesgo a Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial "Colinas del Lago" en el Municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.

Que presenta el pasante: **Ricardo Andaraca Fernández**
Con número de cuenta: **310102416** para obtener el Título de la carrera: **Ingeniería Química**

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el **EXAMEN PROFESIONAL** correspondiente, otorgamos nuestro **VOTO APROBATORIO**.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 24 de Abril de 2019.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	Q. Celestino Silva Escalona	
VOCAL	I.Q. María Elena Quiroz Macías	
SECRETARIO	I.Q. Ismael Nuñez Barrón	
1er. SUPLENTE	I.Q. Miguel Ángel García Campos	
2do. SUPLENTE	I.Q. Miguel Ángel Vázquez Flores	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 127).

LMCF/cga*

Dedico esta tesis a:

A mis padres **Ricardo Andaraca Urueta** y **Rita Patricia Fernández Vázquez** como un testimonio de cariño y eterno agradecimiento por mi existencia, valores morales y formación profesional. Porque sin escatimar esfuerzo alguno han sacrificado gran parte de su vida para formarme, y porque nunca podre pagar todos sus desvelos ni aún con las riquezas más grandes del mundo, por lo que soy y por todo el tiempo que les robe pensando en mi... ¡Gracias!

A mi hermano **Aldo Andaraca Fernández** por ser mi motor para ser la mejor versión de mí y poder ser fuente de conocimiento y admiración para él, así como él lo es para mí. Por ser mi incondicional, y que, pese a las diferencias, sé que siempre podré contar con su compañía y apoyo. Desde un consejo, un abrazo, hasta simplemente reír y pasar un rato juntos.

Quisiera expresar mi más sincero reconocimiento y agradecimiento a nuestra máxima Casa de Estudios, “**UNAM**”, y junto con ella a la **FES Cuautitlán**, como nuestra Alma Máter por haberme dado el conocimiento, espacio y experiencias que me permitieron cruzar camino con gente tan valiosa dentro y fuera de su seno.

A todos y cada uno de mis profesores, que con gran emoción y cariño me compartieron su tiempo, conocimiento y experiencias. Tengan presente que todas y cada una de ellas son ahora parte importante de mi formación profesional y personal, y es mi deber para con todos ustedes continuar su legado transmitiendo esa esencia suya a través de mi persona.

A mis Amig@s, **Jessica, Joel, Marcos, Maya, Oliver, Yazmín, Los Relampamigos** por estar conmigo y brindarme su amistad incondicional, con todo lo que ello conlleva; y demás compañeros que día a día pude aprender de ustedes, con ustedes y crecer hasta ser la persona que soy al día de hoy.

*“Jamás confundas tus logros con la grandeza,
no es lo mismo ser exitoso
que ser una persona de valor”*

Objetivos

- ❖ Realizar el Estudio de Análisis de Riesgo de un Sistema de Transporte de Gas Natural (STGN), para el suministro a una planta de generación de energía eléctrica a instalarse en Lagos de Moreno, Jalisco.
- ❖ Utilizar las metodologías de Identificación, Jerarquización y Simulación de Riesgos para la evaluación del sistema, permitiendo con ello determinar el nivel de riesgo del estudio y la disminución de éste en función a las mejores prácticas y recomendaciones técnicas, operativas y administrativas de la prevención.
- ❖ Recabar los resultados del Estudio de Análisis de Riesgo del Sistema de Transporte de Gas Natural, con miras a describir las zonas de protección en torno a las instalaciones del estudio.
- ❖ Definir las medidas de seguridad y preventivas en materia ambiental a través del Estudio de Análisis de Riesgo para el STGN en cuestión, que permitan disminuir el riesgo evaluado originalmente.
- ❖ Destacar la vinculación e influencia del trabajo del Ingeniero Químico en el desarrollo de este tipo de estudio.

Justificación

El estudio de análisis de riesgos se ha introducido recientemente a las actividades cotidianas de la industria de la transformación en todos los niveles, no obstante, la visión sistémica habrá de agregarse a las observaciones para una mejor comprensión del entorno, la interacción entre sistemas, subsistemas y elementos; es por lo que se requiere de la visión de uno o más observadores

Para el caso particular del presente estudio la modernización del sector energético vía la Reforma Energética del país y el crecimiento de la demanda de energía eléctrica en la zona Centro del país, así como la mejora de las cuestiones ambientales y económicas, y con el propósito de suministrar y atender la demanda requerida de gas natural, llevan a la empresa generadora de energía eléctrica a contratar a un contratista para que facilite por medio de la infraestructura necesaria la instalación de un **Sistema de Transporte de Gas Natural por medio de ducto que permita la generación de energía eléctrica estimada por el desarrollador para suministro a la red nacional y distribución en la zona centro del país.**

Introducción

La industria química y la petrolera se caracterizan por tener pocos accidentes, pero cuando se producen, son de severidad elevada (Alcance y Efectos). Los accidentes ocurridos en este sector pueden afectar personas, a los bienes y al entorno tanto dentro como fuera de los límites de la instalación.

A nivel nacional los primeros intentos por evaluar el Riesgo Ambiental surgen en 1983, año en el que la Ley Federal de Protección al Ambiente introduce por primera vez los Estudios de Riesgo, como parte del procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental de los proyectos industriales. En tanto que la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en 1988 y sus modificaciones publicadas en 1996 y 2001, amplían el concepto para incorporar la obligación por parte de las Actividades Altamente Riesgosas que se proyecten, de elaborar e instrumentar Programas para la Prevención de Accidentes que incluyan Planes Externos para la Respuesta a Emergencias

El procedimiento de Evaluación del Riesgo (ER), concebido como un instrumento de la política ambiental, analítica y de alcance preventivo, permite responder a la necesidad de regular las actividades que involucran el uso, manejo, transporte y almacenamiento de sustancias y actividades consideradas como altamente riesgosas. Integrar al ambiente una actividad considerada altamente riesgosa. Bajo esta concepción el procedimiento ofrece un conjunto de ventajas para proteger al ambiente y la sociedad de eventos no deseados; invariablemente, esas ventajas sólo son apreciables después de largos periodos de tiempo y se concretan en las inversiones y los costos de las obras, en diseños más completos e integrados al ambiente y en una mayor aceptación social de las iniciativas de inversión.

Para la elaboración del presente estudio se considerarán algunas de las metodologías básicas en el análisis de riesgo, utilizando los formatos propuestos en la bibliografía, así como una combinación de estos para un mejor resultado y referencia del análisis en cuestión, esta se dividirá en metodologías de identificación jerarquización y modelación de escenarios.

Entre las metodologías de identificación se desarrollarán las siguientes:

- a) **Análisis ¿Que pasa sí....?” “What if....?”**. Su propósito es identificar las situaciones peligrosas o eventos accidentales específicos que pueden producir una consecuencia indeseable; este involucra las posibles desviaciones de diseño, construcción, modificación o intensión de operación de un proceso.
- b) **Lista de Verificación “Check List”**. Este considera una revisión cualitativa de aspectos operativos que podrán identificarse como de cumplimiento o no cumplimiento; generalmente está asociado a normas o estándares previamente definidos para el óptimo funcionamiento de un proceso.

Ambos métodos evalúan de forma cualitativa las consecuencias de accidentes y determinan si los niveles de seguridad contra los escenarios potenciales son adecuados.

Como parte de las metodologías de jerarquización se utilizarán:

- a) **HAZOP (HAZard and OPerability)**. Este método involucra la investigación de desviaciones del intento de diseño o propósito de un proceso, por un grupo de individuos con experiencia en diferentes áreas como: Ingeniería, Producción, Mantenimiento, Seguridad, Etc.

Es un proceso estructurado de Tormenta de ideas que al utilizar un conjunto de palabras guía o claves para examinar desviaciones de las condiciones normales de un proceso en varios puntos clave (Nodos) de todo el proceso; estas palabras guías se aplican a parámetros relevantes del proceso, tales como: Flujo Temperatura, Composición, Etc. Para identificar las causas y consecuencias de desviaciones de estos parámetros en condiciones normales, y finalmente identificar consecuencias inaceptables y recomendar mejoras al proceso.

b) **Índice Mond de Incendio, Explosión y Toxicidad.** Es un método semicuantitativo que mediante una división en secciones de los sistemas determina factores de penalización o bonificación que a su vez permitirán evaluar consecuencias de riesgo, fuego o toxicidad y así mismo corregir los índices calculados median te factores de seguridad.

Una vez identificados los riesgos posibles y jerarquizados estos mediante herramientas de probabilidad y estadística se procederá a evaluar las consecuencias y límites de afectación que estos tendrían en caso de presentarse, para ello se auxiliará con el uso de algoritmos de dispersión de materiales, y modelación de distancias de afectación acorde con criterios de afectación y protección a los seres humanos, instalaciones y entorno ambiental, esto último realizado mediante el uso de software especializado en la materia.

En el presente trabajo se pretende mostrar las metodologías de análisis de riesgos químicos que se utilizan como complemento de la ingeniería realizada para un sistema de transporte de gas natural, el cual se instalará para suministrar este hidrocarburo a una planta de generación eléctrica que se instalará en el municipio de Lagos de Moreno Jalisco.

Este estudio en particular está basado en el desarrollo de la “Guía para la presentación del Estudio de Riesgo Modalidad Ductos Terrestres” emitida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT y para ello se revisó la información legal, técnica, administrativa, financiera y de diseño de la empresa que actúa como contratista, la cual proporcionó los elementos de evaluación que permitirán llevar a cabo dicha obra de infraestructura.

El trabajo de tesis está estructurado en cuatro capítulos y un apartado con anexos:

- ❖ En el primer capítulo se establecen los objetivos y alcances de este estudio, se identifica el medio ambiente temporal o histórico que incluye sus antecedentes y el medio ambiente espacial o físico que especifica el campo de aplicación de la metodología propuesta, así como también se dan a conocer las metodologías utilizadas, sus ventajas y desventajas y se justifica la elaboración de la tesis con base en las mismas.
- ❖ Los capítulos dos y tres contienen el desarrollo y aplicación de la metodología, que propone una solución a las desventajas encontradas en el estudio y su forma de mitigar, corregir y eliminar en cierta medida los escenarios de riesgo planteados por la misma metodología.
- ❖ En el apartado de conclusiones se valoran los objetivos y se presentan las conclusiones de la elaboración de este estudio en particular, determinando la factibilidad de éste.
- ❖ La sección de Apéndices y Anexos se dedica a identificar los Instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan la información señalada en el estudio de riesgo ambiental. Finalmente se reporta la bibliografía y referencias electrónicas consultadas para la elaboración de este estudio.

“Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.”

Contenido

CAPÍTULO I.....	1
<i>I. Escenarios de los Riesgos Ambientales Relacionados con el Estudio</i>	<i>2</i>
I.1. Descripción del Sistema de Transporte al cual se realizó el estudio.....	2
I.2. Ubicación de la Instalación a la que se realiza el Estudio.....	2
I.3. Superficie total de la instalación y superficie requerida para el desarrollo de la actividad...5	5
II. Bases de diseño.....	6
II.1.1 Cálculo del Diámetro de la Tubería.....	6
II.1.2 Cálculo de caída de presión.....	7
II.1.3 Descripción del Proceso	9
II.1.4 Materias primas, Productos y Subproductos Manejados en el Proceso	10
II.1.5 Cálculo de gas de empaque	12
III. Condiciones de Operación.....	13
III.1.1 Operación	13
III.1.2 Temperaturas y Presiones de diseño y operación.....	14
III.1.3 Características del Régimen Operativo de la Instalación (continuo o por lotes)	14
CAPÍTULO II.....	15
I. Análisis y Evaluación de Riesgos.....	16
I.1. Interacciones de Riesgo.....	16
I.2. Lista de Verificación (“ Check list ”).....	17
I.3. Antecedente de Accidentes e Incidentes.....	18
I.4. Metodologías de Identificación y Jerarquización.....	33
I.4.1. Criterios de selección de metodologías empleadas para identificación de riesgos.....	33
I.4.2. Factores de Riesgo.....	35
I.4.3. Identificación de los Riesgos Potenciales.....	35
I.5. Aplicación de las Metodologías de Análisis y Evaluación de Riesgos Potenciales..38	38
I.5.1. Índice Dow/Mond	38
I.5.2. HAZOP	48
I.5.3. Matriz de Jerarquización de Riesgos	53
I.5.4. Radios Potenciales de Afectación.....	57
CAPÍTULO III.....	68
I.1. Recomendaciones técnico-operativas	69
I.2. Descripción de las medidas, equipos y dispositivos de seguridad	70
CONCLUSIONES DEL ESTUDIO.....	76
I. Conclusiones.....	77
I. Recomendaciones.....	78

“Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.”

Apéndices y Anexos	80
Glosario de Términos	89
Bibliografía Consultada	93
Páginas de Internet:	95

CAPÍTULO I

Se establecen los objetivos y alcances de este estudio, se identifica el medio ambiente temporal o histórico que incluye sus antecedentes y el medio ambiente espacial o físico que especifica el campo de aplicación de la metodología propuesta para el caso en particular, así como también se dan a conocer las metodologías utilizadas, sus ventajas y desventajas y se justifica la elaboración del estudio con base en las mismas.

I. Escenarios de los Riesgos Ambientales Relacionados con el Estudio

I.1. Descripción del Sistema de Transporte al cual se realizó el estudio

Nombre: “Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.” El Gas Natural será suministrado a través de un Sistema de Transporte de Gas Natural que partirá desde una interconexión con el Gasoducto de 16” D.N. propiedad de “Gasoductos del Bajío”, en su cruce con la carretera No. 80 San Luis Potosí – Lagos de Moreno.

I.2. Ubicación de la Instalación a la que se realiza el Estudio

El gasoducto será construido, enterrado y alojado marginalmente a lo largo de caminos de acceso, vías de comunicación, terrenos ejidales y particulares, pertenecientes al municipio de Lagos de Moreno, Jalisco como se muestra en la **fotografía aérea** (Figura 1) correspondiente a la opción de trazo considerado.



Figura 1 Ubicación del trazo del Sistema de Transporte de Gas Natural.

Esta interconexión con el sistema de “Gasoductos del Bajío” de 16” D.N. iniciará en las coordenadas geográficas (ver Tabla 1), después se iniciará el trazo a la salida del registro de interconexión en donde se ubicará la primera válvula de seccionamiento y su conexión con la Estación de Medición y Regulación Principal en un terreno aledaño a la misma, para así iniciar la trayectoria con la red con dirección Noreste de forma paralela a la carretera No. 80 San Luis Potosí – Lagos de Moreno por aproximadamente 3,000 m hasta llegar a los terrenos en los que se ubicará una estación de generación eléctrica en las coordenadas mostradas en la siguiente tabla:

Tabla 1 Coordenadas geográficas de la instalación a la que se realizó el estudio

Identificación	Nombre / Descripción	Kilometraje aproximado	Coordenadas UTM
Interconexión	Paralela a la carretera 80 San Luis Potosí – Lagos de Moreno	0+000	X=0201216.35 m N Y=2367477.83 m E
Cambio de dirección	Entrada al Parque Industrial Colinas del Lago	2+357	X=0202934.83 m E Y=2369057.65 m N
Conexión	Estación de Generación Eléctrica Renovare	2+712	X=0202746.05 m E Y=2369249.34 m N

Fuente: Datos propios obtenidos de levantamiento en campo y de la fotografía aérea de Google Earth.

Se Incluyen los planos de localización a escala adecuada y legibles, describiendo y señalando las colindancias de la instalación del estudio en cuestión y los usos del suelo en un radio de 500 metros en su entorno, así como la ubicación de zonas vulnerables, tales como: asentamientos humanos, áreas naturales protegidas, zonas de reserva ecológica, cuerpos de agua, etc.; indicando claramente la distancia de las mismas.



Figura 2.- Radios a 500m de las respectivas estaciones de regulación y medición (Interconexión y Entrega a Cliente).

- El caso particular al que se realizó el estudio se iniciará desde la conexión con el gasoducto de 16” D.N. (PI) a cargo de “Gasoductos del Bajío”), cuya trayectoria inicia paralela a la carretera federal No. 80 Lagos de Moreno – San Luis Potosí y continua con la red en dirección Noreste de forma paralela a esta carretera por aproximadamente 3 Km y hasta su llegada con el terreno en que se ubicará una estación de generación eléctrica, dentro de los límites del Parque Industrial Colinas del Lago en Lagos de Moreno, Jalisco, por lo cual se analizaron las colindancias de todo el recorrido de la instalación, quedando de la siguiente manera:

- Hacia la zona Sur del recorrido, se localiza en su mayoría terrenos baldíos y algunos de cultivo.
- Hacia el Oeste del Sistema de Transporte de Gas Natural, de forma inmediata posterior al gasoducto colinda con terrenos baldíos solo varios kilómetros al Oeste localizamos localidades
- Hacia el Este del sistema, encontramos en su mayoría del recorrido terrenos de cultivo y lotes baldíos y ejidales. en dirección Este recorriendo algunos kilómetros, localizamos la zona urbana de Las Palomas.
- Hacia el Norte, en su mayoría del recorrido, el gasoducto colinda con terrenos propios del Parque industrial Colinas del Lago y después terrenos baldíos y de cultivo, más adelante y recorriendo algunos kilómetros, localizamos la zona urbana de Loma de Veloces.

En resumen, a lo largo de la trayectoria desde la interconexión con el gasoducto de 16" D.N. de "Gasoductos del Bajío" hasta la planta de generación Eléctrica en Jalisco, este sistema de transporte de gas natural se encuentra rodeado y colindando con zonas rurales y urbanas que no tienen mayor influencia que comercial e industrial en la proximidad del mismo.

La presente obra pretende proporcionar a la Estación Eléctrica, (el estudio en Lagos de Moreno, Jalisco), suministro de este hidrocarburo, permitiéndoles así contar con la flexibilidad de usar un combustible más limpio y reducir sus emisiones al ambiente, además de suministro continuo para optimizar su proceso.

La longitud del trazo será de aproximadamente 3 Km, de acuerdo con la opción de trazo seleccionado y no será necesario derribar ninguna cantidad de árboles a lo largo de todo el trazo, sin embargo, en la Manifestación de Impacto Ambiental, se mencionarán las medidas de mitigación que corresponden a esto. El sistema de transporte de gas natural mantendrá una presión constante de operación de 500 Psi (35.1535 Kg/cm²).

El estudio cumple con los requisitos señalados en la **NOM-129-SEMARNAT-2006** *Redes de Distribución de Gas Natural*, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 17 de julio de 2007.

Dicha infraestructura será diseñada, construida y operada de acuerdo a la norma mexicana y **NOM-007-ASEA-2016** "Transporte de Gas Natural".

El ducto es clasificado de acuerdo con la NOM-007-ASEA-2016 como localización clase 3 (Pág 8).

Tabla 2 Longitud aproximada por tramos de tubería (en base a los planos de localización)

Tramo	Referencia	Longitud aproximada	Diámetro
A – B	De ERM Renovare a PI Colinas del Lago	0.52 Km	8" API 5L X52
B – C	Del punto anterior a Estación de Generación Eléctrica Colinas del Lago	1.83 Km	8" API 5L X52
C – D	Del punto anterior a CAS Renovare	0.68 Km	8" API 5L X52
	TOTAL APROXIMADO	3.03 Km	

El gasoducto será construido alojado marginalmente en la mayor parte de su trayectoria de manera paralela a vías de comunicación primarias, calles y carreteras atravesando zonas del municipio de Lagos de Moreno, Jalisco.

I.3. Superficie total de la instalación y superficie requerida para el desarrollo de la actividad (m² o Ha).

Toda la tubería de este sistema se enterrará alojándose a lo largo de caminos de acceso, vías de comunicación, desde su interconexión con el gasoducto de 16" D.N. en su tramo con la carretera No. 80 San Luis Potosí – Lagos de Moreno, Jalisco, hasta llegar a los terrenos en los que se ubicará una estación de generación eléctrica; el área total estimada del trayecto horizontal del gasoducto considerando 6.0 m de franja de afectación (debido al diámetro nominal del ducto: 8") es de aproximadamente 0.018180 Km².

Longitud total aproximada	3,030 m de Acero al Carbón API 5L X52, 8" de diámetro Total lineal: 3.3 Km 3,120 m ² ERM Renovare a PI Colinas del Lago 10,980 m ² Del punto anterior a Estación de Generación Eléctrica Colinas del Lago 4,080 m ² Del punto anterior a CAS Renovare
Ancho del derecho de alojamiento	6.0 metros
Superficie total requerida para el estudio	Aproximadamente 18,180 m ² = 0.018180 Km ²

Debido al dimensionamiento del sistema y las distancias que en este se manejan, no es necesario la instalación de válvulas de seccionamiento a lo largo de la trayectoria del gasoducto, ya que las que se encuentran en ambas ERM (Principal y Usuario final) son más que suficientes para el cumplimiento normativo.

La tubería a emplear será de acero al carbono, especificación API 5L X52 de 8" de diámetro nominal; con un espesor calculado de 0.365", con una máxima presión de operación permisible de 500 PSIG (35.1535 Kg/cm²) y con una capacidad de transporte de al menos 1,869,120 m³(N)/Día (66,000 MMBTU/Día).

La tubería anterior servirá para transportar el gas natural desde la Estación de Regulación y Medición Principal (ERMP) que se instalará como límite de responsabilidad entre "Gasoductos del Bajío", y hasta el suministro la Estación de Generación Eléctrica. El gasoducto se conectará de manera exterior desde la ERMP y se instalará de manera subterránea hasta la conexión con la Estación de Generación Eléctrica, para el suministro de esta, en todo el trayecto se manejará una presión máxima de operación de 500 psig (35.1535 Kg/cm²) a lo largo de su trayectoria.

Los siguientes datos de presión y consumos, así como los requerimientos de demanda máxima para la Estación de Generación Eléctrica son datos proporcionados por el usuario:

Tabla 3 Requerimientos del usuario

Usuario	CONSUMO m ³ /hr	CONSUMO m ³ /día
Estación de Generación Eléctrica	77,880	1,869,120

En cuanto a la capacidad de diseño, el sistema en su totalidad tiene una capacidad de diseño de 26,834.93 m³/hr equivalentes a 644,038.4 m³/día aproximadamente su presión de diseño es de 42.18 Kg/cm²man. (615 psig). En cuanto al consumo máximo se refiere, la Estación Eléctrica consumirá aproximadamente 77,880 m³/hr. El consumo total máximo esperado por día será de 1,869,120 m³/día.

II. Bases de diseño

Es importante referirnos a las bases de diseño ya que a pesar de ser datos que provee el usuario interesado en este estudio, son requeridos para realizar las simulaciones y escenarios de riesgo requeridos para este estudio.

II.1. Criterios de Diseño

Se Mencionan los Criterios de Diseño de la Instalación a la que se realiza el estudio con base en las Características del Sitio y a la Susceptibilidad de la Zona a Fenómenos Naturales y Efectos Meteorológicos Adversos.

Para este caso en específico el material de tubería que se empleará en diámetro de 8" D.N. fue Acero al Carbón API 5L X52, el cual se instalará de forma subterránea a lo largo de todo el recorrido.

II.1.1 Cálculo del Diámetro de la Tubería

Se tomará como base para una primera estimación de cálculo la velocidad recomendada por Applied Process Design for Chemical & Petrochemical Plants Vol. 1 de Ernest E. Ludwig donde dice que la velocidad media del rango recomendado para gas natural en tuberías es:

$$v = 1,200 \text{ m/min}$$

El área transversal del tubo se calcula como sigue:

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$Q = 2222.40 \text{ m}^3/\text{hr} = 37.04 \text{ m}^3/\text{min}$$

A = área transversal

v = velocidad

$$A = \frac{37.04 \text{ m}^3/\text{min}}{1200 \text{ m/min}} = 0.0309 \text{ m}^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 0.0309 \text{ m}^2}{\pi}} = 0.1984 \text{ m} = 198.4 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el diámetro seleccionado de 203.2 mm (8") para tubo de Acero al Carbón API 5L X52 es correcto.

II.1.2 Cálculo de caída de presión.

Formula Weymouth para cálculo de caídas de presión en tubería mayor a 3" (76.2 mm) y más de 9 Kpa/cm² (100grf/cm²)

$$P_2 = \left(P_1^2 - \frac{(P_0 Q)^2 SLT}{(28.387 T_0)^2 D^{\frac{16}{3}}} \right)^{0.5}$$

Donde:

Q = Flujo de gas en m³/h, en condiciones normales (15,6°C Y 760 mm Hg)

P₁ = Presión absoluta inicial, a la entrada de la tubería, en kgf/cm² ABS.

P₂ = Presión absoluta final, o a la salida de la tubería, kgf/cm² abs.

S= Densidad Relativa del gas (0.6)

L = Longitud de la tubería en m.

D = Diámetro de la tubería en cm.

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm}$$

$$P_{man} = 35.3515 \text{ kgf/cm}^2$$

P_{atm} en la zona de Lagos de Moreno y alrededores, Jalisco = 1.0462 Kg/cm²

$$P_{abs} = P_{man} + P_{atm} = 36.1997 \text{ kgf/cm}^2$$

La presión manométrica a la salida de la caseta de regulación es de 35.1535 kg/cm², la presión absoluta es de 36.1997 kg/cm².

Tabla 4 Cálculo de espesor del tubo

Clase de Localización 3							Ced 30	Ced 40
D _{nom} (in)	D _{int} (in)	D (cm)	t (cm)	t (in)	t _{corr} (in)	t _{tot} (in)	t _{comercial} (in)	
2	2.375	6.03	0.0862	0.0339	0.125	0.1589	0.109	0.154
2.5	2.875	7.30	0.1043	0.0411	0.125	0.1661	0.120	0.203
3	3.500	8.89	0.1270	0.0500	0.125	0.1750	0.120	0.216
4	4.500	11.43	0.1633	0.0643	0.125	0.1893	0.126	0.237
6	6.625	16.83	0.2404	0.0946	0.125	0.2196	0.134	0.280
8	8.625	21.91	0.3130	0.1232	0.125	0.2482	0.277	0.322
10	10.750	27.31	0.3901	0.1536	0.125	0.2786	0.307	0.365

Aplicación de la fórmula de Barlow para espesores de tuberías de transporte y distribución de gas.

$$t = \frac{PD}{2SFET}$$

DONDE:

t = Espesor del tubo en (m)

P = Presión interna de diseño (kg/cm^2)

D = Diámetro nominal exterior del tubo (m)

S = Resistencia de fluencia mínima especificada (kg/cm^2 , kPa) = $2,952.89 kg/cm^2 / 289,580kPa$

F = Factor de Localización (Ver Tabla 5)

E = Eficiencia de la junta longitudinal (Ver Tabla 6)

T = Factor de reducción por temperatura

Tabla 5 Factor por clase de localización

CLASE DE LOCALIZACION	F
1	0.72
2	0.60
3	0.50
4	0.40

De acuerdo con la NOM-007-ASEA-2016 las clases se definen de la siguiente forma:

- **Clase 1** Área unitaria que cuenta con diez o menos construcciones o aquella en la que la tubería se localice en la periferia de las ciudades, poblados agrícolas o industriales.
- **Clase 2** Área unitaria que cuenta con más de diez y menos de cincuenta construcciones.
- **Clase 3** Área unitaria en la que se registra alguna de las características siguientes:
 - a) Cincuenta o más construcciones destinadas a ocupación humana o uso habitacional
 - b) Una o más construcciones ocupadas normalmente por 20 o más personas a una distancia menor de 100 m del eje de la tubería.
 - c) Un área al aire libre bien definida a una distancia menor de 100 m del eje de la tubería y que dicha área sea ocupada por 20 o más personas durante su uso normal, tal como un campo deportivo, un parque de juegos, un teatro al aire libre u otro lugar público de reunión.
 - d) Áreas destinadas a fraccionamientos y/o comercios en donde se pretende instalar una tubería a una distancia menor de 100 m aun cuando al momento de construirse, solamente existan edificaciones en la décima parte de los lotes adyacentes al trazo, y
 - e) Un Área que registre un tránsito intenso o se encuentren instalaciones subterráneas a una distancia menor de 100 m de donde se pretenda instalar una tubería, se considera tránsito intenso un camino o carretera pavimentada con un flujo de 200 o más vehículos en una hora pico de aforo.
- **Clase 4** Área unitaria en la que se localicen edificios de cuatro o más niveles donde el tránsito sea intenso, o bien, existan otras instalaciones subterráneas.

Tabla 6 Especificaciones para tubería

CLASE DE TUBERÍA	E
SIN COSTURA	1.0
SOLDADA POR RESISTENCIA ELÉCTRICA	1.0
SOLDADA A TOPE EN HORNO	1.0
SOLDADA POR ARCO SUMERGIDO	1.0
TUBERÍA S/IDENTIFICACIÓN CON DIÁMETRO > 101 mm	0.80
DIÁMETRO < 101 mm	0.60

**T=1 SI LA
TEMPERATURA DEL
GAS ES <393 °K o 119.84
°C**

Sustituyendo para tubo de 8" tenemos:

$$t = \frac{36.1997 \frac{kg}{cm^2} \times 0.21907 m}{2 \times 2952.89 \frac{kg}{cm^2} \times 0.50 \times 1 \times 1} = 0.0026856 m$$

Si se deja como margen para corrosión 1/8" (0.003175 m)

$$t_{requerida} = 0.0026856 + 0.003175 = 0.0058606 m$$

por lo tanto, el espesor seleccionado de 0.007035 m (0.277") para tubo de 8" de Acero al Carbón API 5L X52 es correcto.

Ahora se calculará la presión máxima que resistirá el tubo considerando que:

t_{real} = espesor del tubo de Acero al Carbón API 5L X52 seleccionado menos 1/8" por corrosión futura

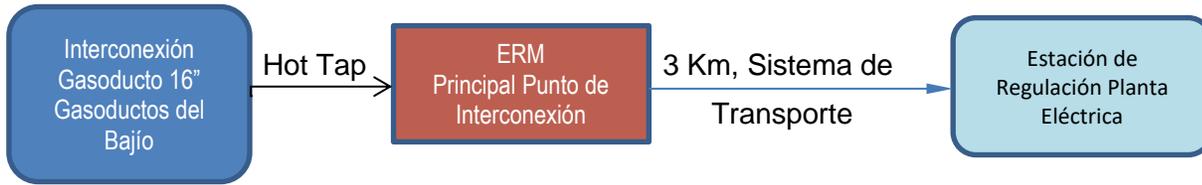
$$P = \frac{2St_{real}FET}{D} = \frac{2 \times 2,952.89 kg/cm^2 \times (0.0070358 - 0.003175)m \times 0.50 \times 1 \times 1}{0.21907m} = 52.04 kg/cm^2$$

Por lo tanto el tubo seleccionado en Acero al Carbón API 5L X52 de 8" nominales resistirá una presión de 52.04 kg/cm^2 , la presión de trabajo manométrica será de 35.1535 kg/cm^2 , por lo tanto queda aprobada la selección del tubo.

II.1.3 Descripción del Proceso

Se realizó la descripción Detallada del Proceso por Líneas de Producción, Reacción Principal y Secundaria en donde Intervienen Materiales Considerados de Alto Riesgo en forma de diagramas de bloques.

Debido a que se trata solamente de un "Sistema de Transporte de Gas Natural", se referirá solamente a una red de distribución, la cual se puede considerar acorde con el siguiente diagrama de bloques:



Como puede verse no existe en el proceso ninguna reacción ni principal ni secundaria, ya que solamente se está transfiriendo el Gas Natural hacia la planta que lo requiere como suministro principal.

II.1.4 Materias primas, Productos y Subproductos Manejados en el Proceso

Para este caso en específico solamente se considerará al Gas Natural por ser la sustancia que se distribuye a lo largo de todo el proceso. (Para Mayor información consultar la MSDS del Gas Natural emitida por PEMEX Gas y Petroquímica Básica).

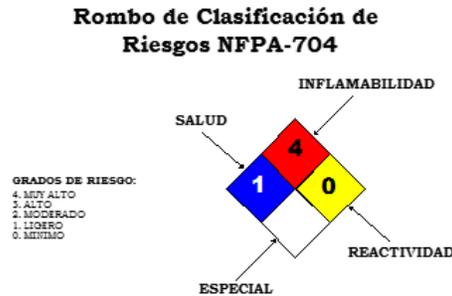


Figura 3 Rombo de identificación de riesgos de la NFPA-704

CLP Símbolo	:	 GHS02
Palabra de advertencia	:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Peligro
Indicaciones de peligro	:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ H220- Gas extremadamente inflamable ▪ H281- Contienen un gas refrigerado; puede provocar quemaduras o lesiones criogénicas.
Consejos de prudencia	:	<ul style="list-style-type: none"> ▪ P210- Mantener alejado del calor, de superficies calientes, de chispas, de llamas abiertas y de cualquier otra fuente de ignición. No fumar ▪ P282- Llevar guantes que aislen del frío/gafas/máscara. ▪ P315- Consultar a un médico inmediatamente ▪ P336- Descongelar las partes heladas con agua tibia. No frotar la zona afectada. ▪ P377- Fuga de gas en llamas: No apagar, salvo si la fuga puede detenerse sin peligro. ▪ P381- Eliminar todas las fuentes de ignición si no hay peligro en hacerlo. ▪ P403- Almacenar en un lugar bien ventilado.

Figura 4 Medidas de seguridad del Gas Natural

Los requerimientos de demanda máxima para la planta generadora de energía eléctrica, de acuerdo con datos proporcionados por dicho usuario, son los siguientes:

El gas natural que servirá como combustible en la planta generadora de energía eléctrica, en Lagos de Moreno (el gasoducto también pasa por Lagos de Moreno), se hará de la siguiente forma:

El consumo de gas total será de 77,880 m³/hr $Q_s = 77,880 \text{ m}^3/\text{hr}$

El consumo mensual será $Q_{\text{mensual}} = 56,073,600 \text{ m}^3$

El consumo de gas estimado en el inciso anterior corresponde a condiciones estándar, es decir a 15.6 °C y 1 atm. de presión absoluta.

El gas a la salida de la caseta para efectos de cálculo de caída de presión en su trayectoria se consideró a una presión regulada de 35.1535 kg/cm² manométricos.

EL CONSUMO A LAS CONDICIONES REALES ESTÁ DADO POR:

$$Q = \frac{Q_s P_0}{P_1}$$

DONDE:

P = Presión barométrica en la zona de Lagos de Moreno y alrededores, Jalisco = 1.0462 Kg/cm²

Q_s = Consumo estándar

P₀ = Presión a condiciones estándar del gas = 1 ATM = 1.033 kg/cm²

P₁ = Presión absoluta real del gas a las condiciones de salida de la caseta de regulación

$P_1 = 35.1535 \text{ kg/cm}^2 + 1.0462 \text{ kg/cm}^2 = 36.1997 \text{ kg/cm}^2$

$$Q = \frac{77,880 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \times 1.033 \text{ kg/cm}^2}{36.1997 \text{ kg/cm}^2}$$

$$Q = 2222.40 \text{ m}^3/\text{hr}$$

De acuerdo con lo señalado en el primer y segundo listados de actividades altamente riesgosas, publicados en el Diario Oficial de la Federación el 28 de marzo de 1990 y el 4 de mayo de 1992, respectivamente, la cantidad de reporte para considerar el estudio como una actividad altamente riesgosa, es de 500 kilogramos. Considerando un ducto principal de **8" de Acero al carbón Ced. 30 x 3 Km** de longitud aprox., y una presión de operación de 500 psig (35.1535 Kg/cm²), el cálculo de la cantidad de gas natural empacado en todos los diámetros es de máximo **2,636.25 Kg** por lo que **si** sobrepasa la cantidad de reporte (*se anexa hoja de excel con el cálculo del gas de empaque*), y por lo tanto si es necesario presentar un Estudio de Riesgo Ambiental, de acuerdo con lo señalado en el artículo 147 de la *Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. También con base en las políticas de la empresa que actúa como contratista y la planta de energía eléctrica, se presentará el Estudio de Riesgo Ambiental.

II.1.5 Cálculo de gas de empaque

Tabla 7 Cálculo de gas de empaque

CALCULO DEL GAS DE EMPAQUE

Proyecto al cual se realizó el Estudio	Sistema de Transporte de Gas Natural			
	Planta Generadora de Energía Eléctrica			
Longitud del Gasoducto	9,842.49	pie	3,000	m
Diametro Externo del gasoducto	8.625	pulg		
Espesor del gasoducto	0.277	pulg		
Presión de operación	500.00	psig		
Volumen de gas de empaque	122,440	pie ³		
EMPAQUE	122,440	pie ³	3,467.13	m ³
	3,467.59	m ³		
Densidad del aire	0.0764	lb/pie ³		
Gravedad específica gas natural	0.62			
	5,799.76	lb		
	2,636.25	kg	Densidad aire	60°C

En cumplimiento con la *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente*, se requerirá de la *Presentación de un Estudio de Riesgo*, lo anterior con fundamento en su artículo 7 fracc IV y XVI, 28 y 35 Bis 2; presentando el mismo para su evaluación en la Oficina Federal de la SEMARNAT.

Lo anterior se cumple acorde con las características del estudio, motivo por el cual se elaborará el estudio de riesgo correspondiente en cumplimiento a la legislación Federal respectiva mencionada.

Asimismo, este documento se entregará acorde con el *La Guía para la Presentación del Estudio de Riesgo (Modalidad Ductos Terrestres)* emitido por la *Dirección General de Gestión para la Protección Ambiental* perteneciente a la *Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales Federal (SEMARNAT)*.

De acuerdo a que el estudio corresponde al sector de Hidrocarburos, la competencia para la revisión y en todo caso aprobación corresponde a la Agencia de Seguridad Industrial y de Protección al Medio Ambiente del Sector Hidrocarburos (ASEA).

III. Condiciones de Operación

III.1.1 Operación

El gasoducto será diseñado y construido para tener una Presión Máxima Permissible de Operación (PMPO) de 4,137 KPa (42.18 Kg/cm², 600 psig). La presión normal de operación del ducto será de 3,447.38 KPa (35.1535 kg/cm² ó 500 psig). El gasoducto ha sido diseñado para transportar Gas Natural hasta por la Cantidad Máxima Diaria de 1,869,120 m³/Día, a las condiciones de Presión y Temperatura.

En la etapa de operación la función principal del sistema será la conducción del gas hacia la planta generadora de energía eléctrica.

El consumo de gas total será de 77,880 m³/hr $Q_s = 77,880 \text{ m}^3/\text{hr}$

El consumo mensual será $Q_{\text{mensual}} = 56,073,600 \text{ m}^3$

El consumo de gas estimado en el inciso anterior corresponde a condiciones estándar, es decir a 15.6 °C y 1 atm. de presión absoluta.

El gas a la salida de la caseta para efectos de cálculo de caída de presión en su trayectoria se consideró a una presión regulada de 35.1535 kg/cm² manométricos.

En lo que respecta al balance de materia y energía, este puede verificarse en el Diagrama de Flujo DFP-PICL y su tabla incluidos en la Figura 11 y la tabla 12.

Tabla 8 Balance de Materia

Nodo	Descripción de Corriente	Estado Físico	Flujo m ³ /hr / MPCSD	Presión Psig / Kg/cm ²	Temperatura °C / F
1	Desde el punto de interconexión con el gasoducto de 16" hasta ERyM principal	Gas	2222.4 / 1,883.6	600 / 42.18	25 / 77
2	Del punto anterior a Estación de Regulación del Usuario	Gas	2222.4 / 1,883.6	500 / 35.15	25 / 77
3	De la Estación anterior hasta después de la Regulación y Medición del Usuario	Gas	2222.4 / 1,883.6	480 / 33.75	24.5 / 76.1

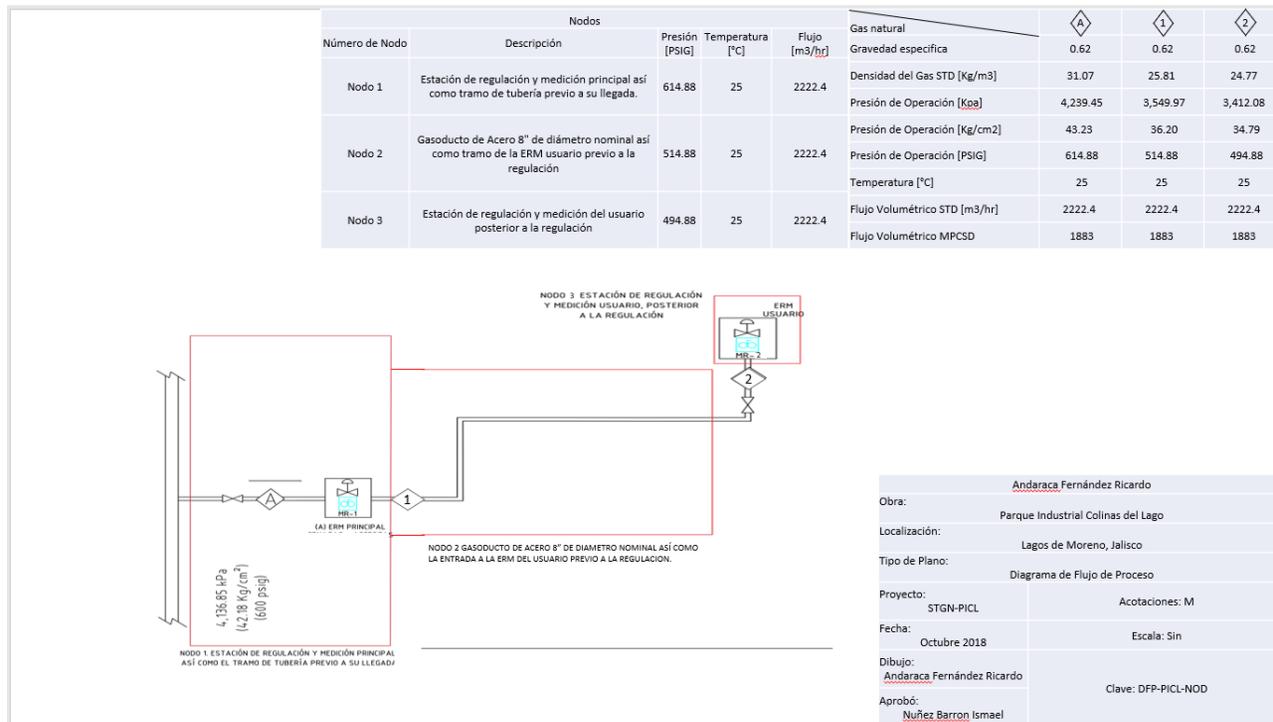


Figura 5 Diagrama de flujo del proceso

III.1.2 Temperaturas y Presiones de diseño y operación

En lo que respecta a las temperaturas y presiones que se manejarán a lo largo del sistema estas pueden verificarse en el Diagrama de Flujo DFP-PICL y su tabla correspondiente incluidos en este documento

El gas fluirá a través de la red descrita hasta la caseta del usuario, donde se regulará la presión hasta obtener la necesaria para atender sus necesidades.

La caseta de regulación en la planta del usuario contará con una válvula de seguridad y un regulador de respaldo.

Estado físico de las diversas corrientes del proceso.

A lo largo de todo el sistema de suministro de Gas Natural a los equipos correspondientes, este permanecerá en estado gaseoso, como puede verse en el DFP-PICL.

III.1.3 Características del Régimen Operativo de la Instalación (continuo o por lotes)

El régimen operativo del "Sistema de Transporte de Gas Natural" se considera continuo a lo largo de todo su recorrido, sin embargo, el área operativa a la que lleva el suministro puede tener variaciones a este respecto dependiendo de la Filosofía Operacional de la planta y de la planta generadora de energía eléctrica.

Para este caso y debido a el tipo de instalación la cual es de servicios, no se realizó una ingeniería de detalle que incluya un Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI), sin embargo, se cuenta con los planos de localización, los cuales en conjunto con el Diagrama de Flujo **DFP-PICL** servirán para verificar las condiciones de distribución y especificaciones de material respectivas.

CAPÍTULO II

Desarrollo y aplicación de la metodología, que propone una solución a las desventajas encontradas en el estudio y su forma de mitigar, corregir y eliminar los escenarios de riesgo planteados por la misma metodología.

I. Análisis y Evaluación de Riesgos

I.1. Interacciones de Riesgo

El medio de transporte masivo de hidrocarburos más utilizado en el mundo son los ductos. No obstante, el avance tecnológico patente en toda la infraestructura del transporte por ductos, el riesgo está siempre presente en la operación de los mismos.

Los accidentes en tuberías de conducción de hidrocarburos se distribuyen aproximadamente de la siguiente manera: corrosión 41%, falla de material 25%, golpes de maquinaria 13%, toma clandestina 4.5%, fisura en soldaduras 3%, otras causas 13.5%.

Si bien el riesgo existirá siempre, su cuantificación es una parte esencial para su mejor administración y prevención, por lo que se debe contar con herramientas adecuadas para evaluarlo de la mejor manera posible.

Los métodos actuales de diseño toman en cuenta la parte aleatoria de las variables únicamente mediante factores de seguridad. Este nivel de aproximación es muy limitado.

Los análisis de consecuencias y riesgos consisten en generar situaciones de riesgo o los denominados posibles escenarios de riesgo. En la simulación de los peores escenarios no se consideró intencionalmente ninguna de las medidas de seguridad con que se cuenta (sistemas de control y mecanismos o procedimientos de respuesta) con el fin de visualizar el grado de afectación que tendría lugar en cada uno de los eventos máximos catastróficos considerados durante la modelación.

Para esta fase se llevará a cabo una identificación de posibles riesgos a partir de los siguientes métodos:

- Una lista de verificación bajo la NOM-007-ASEA 2016: *Transporte de gas natural, etano y gas asociado al carbón mineral por medio de ductos*, con el fin de que se verifique el cumplimiento en todas las etapas del estudio, de tal manera que se identificarán los puntos que puedan generar un riesgo.

Esta metodología tiene como objetivo identificar los requerimientos de diseño, administrativos, operacionales, de mantenimiento y legales necesarios para la ejecución del presente estudio. Esta lista de verificación se conforma de cuatro columnas, donde se especifica la actividad verificada (numeral de la norma), si aplica o no y algunas observaciones al respecto.

Derivado de lo anterior, se obtuvo un listado con las actividades y medidas necesarias establecidas en la norma que son de aplicación para el estudio. Por cuestiones de confidencialidad solo se mostrará un fragmento-ejemplo de ésta. Dicha tabla se puede construir de forma completa basándose en la normativa, así como con la NOM-ASEA-007-2016.

- Antecedentes de Accidentes e Incidentes de Proyectos e Instalaciones Similares: El análisis histórico de accidentes es un método del tipo cualitativo, el cual consiste en estudiar algunas estadísticas de accidentes importantes registrados en el pasado en sistemas similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza. Se basa en informaciones de procedencia diversa:
 - Bibliografía especializada (publicaciones periódicas y libros de consulta).
 - Bancos de datos de accidentes informatizados (tal es el caso de la información proporcionada por la Dirección General de Protección Civil, el Centro Nacional de Prevención de Desastres y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente).
 - Registro de accidentes de la propia empresa, de asociaciones empresariales o de las autoridades competentes.
 - Informes o peritajes realizados normalmente sobre los accidentes más importantes

- Como análisis adicional se llevará a cabo la metodología cuantitativa, en específico el índice Mond, con el fin de conocer el riesgo de la interconexión física y sus elementos como un solo nodo o una sola unidad de proceso debido a su corta dimensión. Es un índice de riesgo que se basa en la asignación de penalizaciones y/o bonificaciones a diferentes áreas e instalaciones de un proyecto, las penalizaciones son asignadas en función de las sustancias presentes y las condiciones de proceso, las bonificaciones toman en cuenta las medidas de seguridad que pueden mitigar o prevenir efectos adversos a la operación de la instalación. La aplicación del método es iterativa, por cuanto en primer lugar se divide la instalación objeto de estudio en unidades de proceso, se describen los materiales determinantes en el riesgo y se evalúa el peor caso; una vez obtenido el resultado, se corrige con la modificación de los índices más determinantes (si ello es razonable) y por último se modifican los valores obtenidos mediante la aplicación de unos factores correctores que tienen en consideración aquellos aspectos que minimizan el riesgo. A todos estos valores se les asigna un valor numérico de acuerdo con lo señalado por la metodología y posteriormente se calcula el Factor de Riesgo Global, el cual señala el riesgo integral que representa el proyecto, tanto con los índices del sistema planteados sin ninguna medida de prevención y/o seguridad como del sistema al considerar los índices de reducción.

A continuación se realizan las metodologías anteriormente mencionadas:

1.2. Lista de Verificación (“Check list”)

Se utilizan para determinar la adecuación de los equipos, procedimientos, materiales, etc. a un determinado procedimiento o reglamento establecido por la propia organización industrial basado en experiencia y en los códigos de diseño y operación. Se pueden aplicar en cualquier fase de un proyecto o modificación de una instalación: diseño, construcción, puesta en marcha, operación y paradas.

Permite comprobar con cierto detalle la adecuación de las instalaciones y constituye una buena base de partida para complementarlas con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior al cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas.

Se ha mencionado que la lista de verificación para este análisis de riesgo preliminar se realizará con base en la NOM-007-ASEA-2016, con el fin de verificar aspectos desde el diseño de la misma.

Tabla 9 Ejemplo de la lista de verificación

NOMBRE DEL DOCUMENTO		Lista de Verificación	PROYECTO:	STGN PARQUE INDUSTRIAL COLINAS DEL LAGO	
NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ASEA-2016		TRANSPORTE DE GAS NATURAL		VERIFICO	ING. RICARDO ANDARACA FERNÁNDEZ
UBICACIÓN:	LAGOS DE MORENO, JALISCO				
ACTIVIDAD VERIFICADA			SI	NO	OBSERVACIONES
6. Materiales					
6.1 Requisitos Generales					
Los materiales de los Ductos y sus Componentes deben cumplir con los requisitos del Diseño, así como:					
a) Mantener su integridad estructural y propiedades mecánicas de acuerdo con las condiciones previstas de temperatura y otras condiciones del medio ambiente;			X		
b) Ser químicamente compatibles con el gas que se Transporte, y					
c) Ser compatibles con cualquier otro material que esté en contacto con el Ducto.					

I.3. Antecedente de Accidentes e Incidentes

El análisis histórico de accidentes es un método del tipo cualitativo, el cual consiste en estudiar algunas estadísticas de accidentes importantes registrados en el pasado en sistemas similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza.

Su análisis permite percibir el perfil cualitativo del tema objeto del presente texto: análisis, prevención y mitigación de los accidentes en la industria (Storch de Gracia, 1998).

Se basa en informaciones de procedencia diversa:

- Bibliografía especializada (publicaciones periódicas y libros de consulta).
- Bancos de datos de accidentes informatizados (tal es el caso de la información proporcionada por la Dirección General de Protección Civil, el Centro Nacional de Prevención de Desastres y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente).
- Registro de accidentes de la propia empresa, de asociaciones empresariales o de las autoridades competentes.
- Informes o peritajes realizados normalmente sobre los accidentes más importantes.

El ámbito de aplicación de esta metodología observa una utilidad, principalmente, para el establecimiento de posibles riesgos en un sistema como el que manejamos en el estudio; además, sirve para hacer una aproximación cuantitativa de la frecuencia de determinados tipos de accidentes, en caso de disponerse de una base estadística suficientemente representativa.

La principal ventaja en el uso de esta metodología de análisis de riesgo ambiental es que el establecimiento de una hipótesis de accidentes se basa en casos reales.

De esa forma, a continuación, se procede al planteamiento y desarrollo del análisis histórico de accidentes, tomando como marco de referencia los siniestros acontecidos tanto internacional como nacionalmente, conforme los siguientes puntos:

Marco General.

Las actividades petroleras como el transporte de sustancias a través de ductos, como todo proceso industrial tiene cierto margen de riesgo que puede estar vinculado a manifestaciones de eventos no deseados como incendios o explosiones (derivados de fugas e ignición de la sustancia transportada) y otros factores como los siguientes:

- a) Inadecuado control de calidad de los componentes mecánicos del sistema de operación tales como bridas, empaques en válvulas y en los puntos de inicio y final.
- b) La frecuencia, continuidad y características de los programas de verificación y mantenimiento preventivo y correctivo.
- c) La eficiencia y rapidez de respuesta para el control de emergencias, de acuerdo a los planes de Seguridad Industrial y Protección Ambiental.

En lo referente al control de calidad de los componentes mecánicos del sistema de operación, esto representa para el proyecto en estudio un abatimiento del nivel de riesgo muy importante, debido a que la mayor parte de los materiales manejados en la industria del transporte de hidrocarburos, han demostrado cumplir con los estándares de calidad más importantes establecidos por la Internacional Standard Organización (ISO), lo que generalmente resulta en nulas fallas en materiales y equipos de operación.

Debido a que la empresa contratada operará este sistema, estará atento a realizar con frecuencia, y continuidad los programas de verificación y mantenimiento preventivo y correctivo, así como una oportuna y eficaz atención y respuesta para el control de emergencias a partir de la implementación de programas de Seguridad Industrial y Protección Ambiental y/o con la adopción de estándares de calidad cada vez más exigentes; sin embargo, pudieran persistir problemas, aunque en pequeña proporción, lo que provoca que existan factores extrínsecos a las labores y actividades de operación que pudieran derivar en problemas de accidentes.

A pesar de que la industria petrolera tiene un registro de accidentes inferior al de otras actividades industriales, ésta es considerada de alto riesgo. Para el caso de nuestro país, los accidentes mayores como las explosiones de varios contenedores con gas L. P. el 19 de noviembre de 1984 en San Juan de Ixhuatpec y las explosiones ocurridas en Guadalajara el 23 de abril de 1992, y en el Distrito Federal el 29 de enero de 2015, pusieron de manifiesto el alto grado de consecuencias derivadas de las manifestaciones del riesgo implícito que lleva este tipo de operaciones y manejos industriales.

La European Pipeline Incident Data Group ha publicado la frecuencia de fugas en tuberías por cada 10,000 Km/año; la mayor de ellas se refiere a un orificio pequeño de diámetros equivalentes entre 3.17 mm (0.12") y 12.7 mm (0.50"); un orificio mediano es mayor a 12.7 mm (0.50") y hasta 38.10 mm (1.50") y la ruptura es mayor a un diámetro equivalente a 38.10 mm (1.50") y hasta la ruptura total de los ductos.

Tabla 10 Estadísticas de eventos

Causa	Frecuencia por 10 000 Km. por año				%	
	Orificio pequeño	Orificio mediano	Ruptura		Total	
Interferencias externas	0.70	1.70	0.50	2.90	50.43	
Defectos de	Construcción	0.70	0.30	0.10	1.10	19.13
	Corrosión	0.80	0.02	0.00	0.82	14.26
Movimientos de Tierra	0.10	0.12	0.12	0.34	5.91	
Error en una interconexión	0.20	0.06	0.00	0.26	4.52	
Otros	0.30	0.03	0.00	0.33	5.75	
Total	2.80	2.23	0.72	5.75	100.00	

Basándose en el comportamiento de oleoductos y gasoductos en Alberta, Canadá de 1983 a 1992, el rango anual de accidentes por falla fluctúa entre 0.6 y 3 por cada 1000 Km/año, con un rango representativo de accidentes del orden de 1 por cada 1000 Km/año (1×10^{-3} por Km/año).

Mencionando que los datos estadísticos se estiman para su representatividad por contar con una estructura de 100,000 Km. de gasoductos y 25,000 Km de oleoductos. Con una mayor aproximación se indica que el 85% de todas las fallas son fugas y el 15.0% son rupturas; señalando con esto que una fuga es comparable con categoría de fuga pequeña, y la ruptura es comparable con la categoría de fuga grande o ruptura total. Por lo tanto, la indicación representativa para fallas es la siguiente:

Tabla 11 Tipos de fallas

Rango	Tipo de falla
8.5×10^{-4} por Km /año	Para fugas pequeñas
1.5×10^{-4} por Km /año	Para fugas grandes o rupturas

En términos de la dimensión del orificio y de acuerdo con datos del Simposium "Control de Riesgos en Ductos de Transporte de Gas" presentado por G.D. Fearnough en 1995, se tiene lo siguiente:

Tabla 12 Distribución relativa de dimensiones de orificios

Dimensión del orificio	Distribución relativa
Menor a 20 mm	87 %
De 20 a80 mm	10 %
Mayor de 80 mm	3 %

Los datos anteriores son similares a los valores presentados en Alberta, Canadá de 1993 a 2002, lo que nos presenta los siguientes valores representativos con respecto a fugas para oleoductos y gasoductos:

Tabla 13 Frecuencia y modo de fallas

Modo de falla	Frecuencia Km/año
Fuga pequeña	8.7×10^{-4}
Fuga grande	1.0×10^{-4}
Ruptura	0.3×10^{-4}

Por otro lado, los antecedentes de incidentes en ductos reportados en los EE.UU. proporcionan pautas para evaluar estos peligros. Los datos totales de incidentes, rupturas y derrames, para el periodo desde mediados de 1984 hasta 1989 (Asociación Americana de Gas, 1990) están resumidos en la tabla 14. Tal como se indica en esta tabla, las fuerzas externas y la corrosión son los dos peligros más significativos para los ductos de transporte de gas. Menos significativo es el efecto de los peligros naturales y el fuego. Los datos reportados de 1984 a 1989 respecto a descomposturas o averías debido a fuerzas externas y causas de corrosión son los mencionados con mayor detalle. Estos datos indican que la construcción cercana al DDV o el uso de equipo de movimiento de tierras causan el 89% de los incidentes debidos a fuerzas externas para los gasoductos continentales, mientras que las causas restantes se relacionan a peligros naturales y "Otros". Los datos adicionales también indican que más de la mitad de los incidentes, en los gasoductos continentales están relacionados con la corrosión externa.

Tabla 14 Porcentaje de incidentes, rupturas y fugas según la causa

Causa	Incidente	Rupturas	Fugas
Fuerzas Externas	39	30	34
Corrosión	23	37	30
Materiales Defectuosos	9	14	9
Defectos de Construcción	6	6	8
Otros	23	12	19

Más de un tercio de las causas incluidas en "Otros" son debido a incendios. Las causas restantes son dispersas y forman solo una pequeña parte del total. Los peligros previstos para el estudio pueden resumirse como sigue:

- Fuerzas externas (construcción o uso de equipo de movimiento de tierra).
- Peligros naturales (terremoto, inundación, asentamiento diferencial).
- Corrosión

Estadística General de Accidentes:

Conforme datos publicados por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente en su página electrónica de internet (www.profepa.gob.mx), el análisis estatal y anual de accidentes en la República Mexicana, para el período 2000 - 2014, presenta la siguiente estadística:

Tabla 15 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA

Estado	Año														Total		Acumulado (%)	
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Eventos		%
Veracruz	143	83	73	94	118	85	63	65	44	46	45	57	90	76	123	1205	15.88	15.88
Tabasco	98	93	92	60	65	63	46	59	26	29	9	12	20	24	95	791	10.42	26.30
Tamaulipas	10	33	30	41	44	32	44	44	58	36	23	22	34	42	63	556	7.33	33.62
Guanajuato	31	34	6	14	6	9	11	16	24	26	25	14	33	53	237	539	7.10	40.72
Campeche	39	41	41	48	116	38	5	10	2	4	2	6	6	5	12	375	4.94	45.67
México	25	19	19	21	8	23	15	11	14	12	21	17	35	51	59	350	4.61	50.28
Oaxaca	18	19	17	19	18	23	29	22	24	19	16	21	30	21	29	325	4.28	54.56
Puebla	12	16	20	30	11	19	8	7	7	22	20	28	25	23	62	310	4.08	58.64
Nuevo Leon	18	21	25	4	7	5	16	9	14	20	25	24	30	28	35	281	3.70	62.35
Sonora	13	15	4	6	13	15	10	18	12	4	9	20	55	29	37	260	3.43	65.77
Chiapas	21	21	32	20	13	21	13	18	14	12	8	4	13	3	9	222	2.92	68.70
Jalisco	19	8	5	8	2	13	11	11	7	11	18	13	30	24	38	218	2.87	71.57
Hidalgo	22	20	13	8	8	11	8	7	9	9	8	16	17	22	32	210	2.77	74.33
Distrito Federal	14	3	4	7	16	19	11	9	6	12	9	13	15	34	34	206	2.71	77.05
Chihuahua	4	8	3	0	1	6	13	13	12	8	10	20	24	29	35	186	2.45	79.50
Coahuila	25	19	12	9	7	6	7	5	6	14	8	18	15	10	10	171	2.25	81.75
Baja California	7	10	10	2	2	4	5	11	2	6	7	20	23	23	17	149	1.96	83.72
Michoacán	11	14	13	11	7	3	7	6	6	6	12	9	15	10	13	143	1.88	85.60
San Luis Potosí	11	16	17	13	2	17	2	8	7	7	5	9	8	8	9	139	1.83	87.43
Querétaro	9	3	5	6	6	1	6	9	7	11	10	11	13	10	27	134	1.77	89.20
Sinaloa	6	5	9	3	2	2	2	5	4	3	4	13	16	21	34	129	1.70	90.90
Zacatecas	2	4	3	3	1	8	4	10	5	9	15	11	15	13	22	125	1.65	92.54
Yucatán	3	5	2	7	7	2	4	5	6	7	4	8	13	8	8	89	1.17	93.72
Durango	5	10	4	3	5	9	1	9	4	0	3	4	8	5	8	78	1.03	94.74
Morelos	8	1	1	2	5	1	4	4	5	7	4	5	4	8	6	65	0.86	95.60
Tlaxcala	6	7	1	0	1	6	4	4	1	2	1	8	7	6	10	64	0.84	96.44
Guerrero	2	3	0	5	4	2	2	1	6	7	3	8	3	5	6	57	0.75	97.19
Baja California Sur	0	5	0	3	0	0	0	1	6	4	7	8	6	6	4	50	0.66	97.85
Aguascalientes	4	5	3	1	1	1	1	0	3	8	3	2	2	2	7	43	0.57	98.42
Colima	2	0	2	2	4	4	4	2	4	5	1	0	3	2	8	43	0.57	98.99
Nayarit	5	3	1	4	0	4	3	3	2	0	0	3	5	3	5	41	0.54	99.53
Quintana Roo	3	0	3	0	2	3	3	3	3	2	4	2	5	2	1	36	0.47	100.00
Total	596	544	470	454	502	455	362	405	350	368	339	426	618	606	1095	7590	100.00	
Eventos / Día	1.63	1.49	1.29	1.24	1.38	1.25	0.99	1.11	0.96	1.01	0.93	1.17	1.69	1.66	3.00	1.39		

Puede observarse que el Estado de Jalisco, se encuentra registrado en la 12ª posición con respecto a la incidencia de accidentes y los años con más eventos (30 – 38) fueron desde 2012 a 2014.

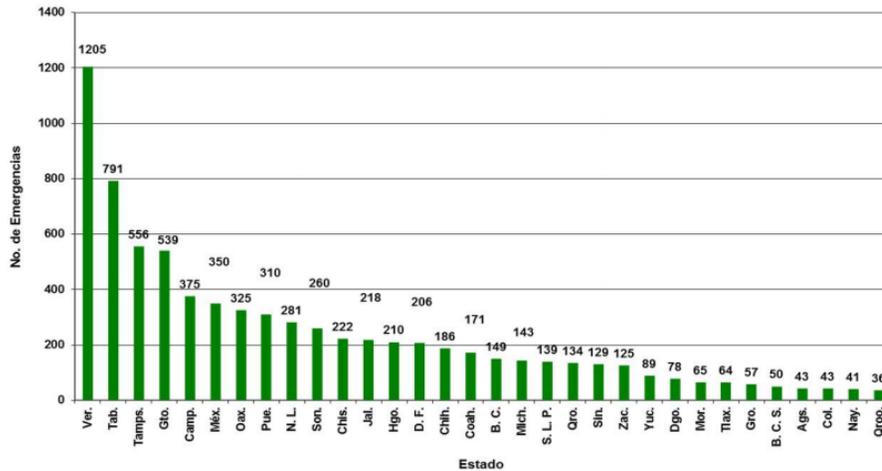


Figura 6 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA

De los accidentes reportados, en el período 1998 – 2009, la PROFEPA establece que las principales sustancias involucradas, son:

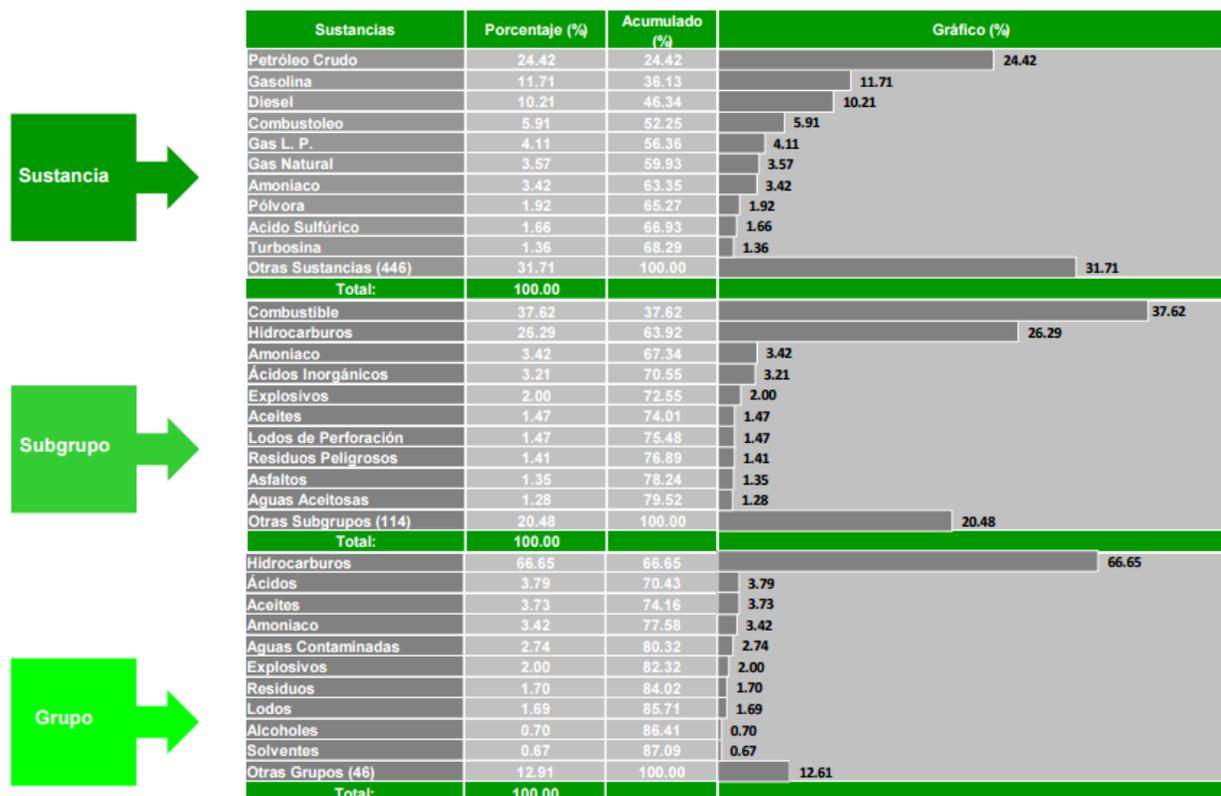
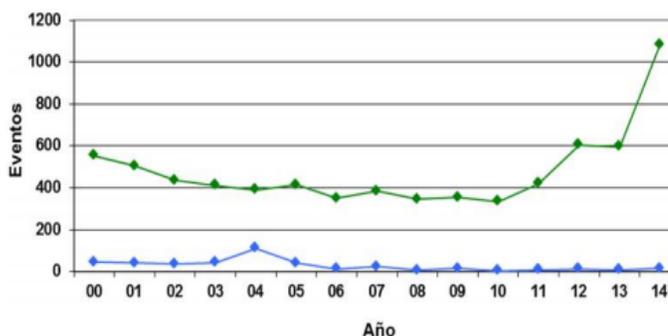


Figura 7 Sustancias involucradas en emergencias

A este respecto, se puede apreciar que el Gas Natural se encuentra situado como una de las sustancias reportadas con menor frecuencia en los accidentes analizados por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Esta sustancia se relaciona con un 3.57 % de los accidentes ocurridos en la República Mexicana (para el período 1998 - 2009).

Por otra parte, para el período señalado entre 2000 y 2014, los accidentes reportados en el país se han presentado mayoritariamente en actividades de transporte, conforme se establece enseguida:

Año	Número de Eventos	Localización			
		Terrestre		Marítima	
		No.	%	No.	%
2000	596	552	92.6	44	7.4
2001	544	503	92.5	41	7.5
2002	470	435	92.6	35	7.4
2003	454	411	90.5	43	9.5
2004	502	390	77.7	112	22.3
2005	455	414	91.0	41	9.0
2006	362	349	96.4	13	3.6
2007	405	383	94.6	22	5.4
2008	350	344	98.3	6	1.7
2009	368	354	96.2	14	3.8
2010	339	335	98.8	4	1.2
2011	426	419	98.4	7	1.6
2012	618	605	97.9	13	2.1
2013	606	597	98.5	9	1.5
2014	1095	1080	98.6	15	1.4
Total	7590	7171	94.5	419	5.5



Año	Número de Eventos	Tipo de Emergencia									
		Fuga		Derrame		Explosión		Incendio		Otro	
		No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
2000	596	46	7.7	483	81.0	26	4.6	35	5.9	6	1.0
2001	544	50	9.2	455	83.6	14	2.5	21	3.9	4	0.7
2002	470	22	4.7	403	85.7	15	2.6	27	5.7	3	0.6
2003	454	22	4.8	385	84.8	18	3.2	21	4.6	8	1.8
2004	502	29	5.8	445	88.6	10	1.8	18	3.6	0	0.0
2005	455	51	11.2	338	74.3	28	4.9	38	8.4	0	0.0
2006	362	51	14.1	261	69.3	31	5.5	29	8.0	0	0.0
2007	405	54	13.3	292	72.1	25	4.4	34	8.4	0	0.0
2008	350	54	15.4	249	71.1	16	2.8	30	8.6	1	0.3
2009	368	67	18.2	245	66.6	22	3.9	34	9.2	0	0.0
2010	339	44	13.0	228	67.3	33	5.8	34	10.0	0	0.0
2011	426	65	15.3	273	64.1	50	8.8	36	8.5	2	0.5
2012	618	87	14.1	408	66.0	66	11.6	51	8.3	6	1.0
2013	606	102	16.8	384	63.4	70	12.3	44	7.3	6	1.0
2014	1095	139	12.7	819	74.8	51	9.0	83	7.6	3	0.3
Total:	7590	883	11.6	5658	74.5	475	6.3	535	7.0	39	0.5

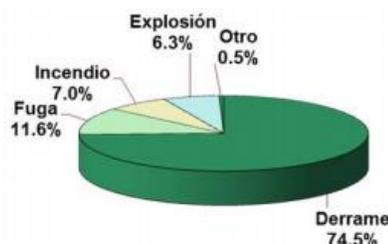
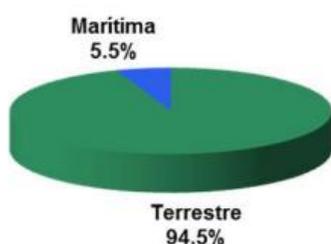
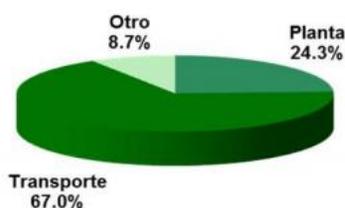
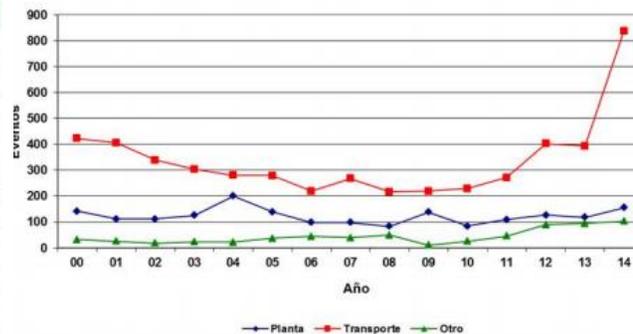


Figura 8 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA (Período 2000 – 2014) Número, Localización y Tipo de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA

Observando los datos anteriores, se verifica una amplia preponderancia de accidentes relacionados con el transporte de sustancias peligrosas por medio de ductos, aunque se debe señalar que no necesariamente son por falta de medidas precautorias del responsable de este medio, puesto que es sabido que los ductos son sujetos a allanamientos para el robo de combustibles o dañados por causa de obras que no respetan los distanciamientos y condiciones de seguridad establecidos por la normatividad correspondiente.

Otro aspecto relacionado con la estadística de accidentes en México tiene referencia a la localización de los siniestros y el tipo de los mismos, conforme se muestra a continuación:

Año	Número de Eventos	Ubicación					
		Planta		Transporte		Otro	
		No.	%	No.	%	No.	%
2000	596	142	23.8	422	70.8	32	5.4
2001	544	112	20.6	406	74.6	26	4.8
2002	470	112	23.8	339	72.1	19	4.0
2003	454	126	27.8	304	67.0	24	5.3
2004	502	200	39.8	280	55.8	22	4.4
2005	455	139	30.5	279	61.3	37	8.1
2006	362	98	27.1	219	60.5	45	12.4
2007	405	98	24.2	268	66.2	39	9.6
2008	350	83	23.7	217	62.0	50	14.3
2009	368	138	37.5	219	59.5	11	3.0
2010	339	84	24.8	229	67.6	26	7.7
2011	426	109	25.6	271	63.6	46	10.8
2012	618	127	20.6	402	65.0	89	14.4
2013	606	118	19.5	394	65.0	94	15.5
2014	1095	155	14.2	837	76.4	103	9.4
Total:	7590	1841	24.3	5086	67.0	663	8.7



Año	Número de Eventos	Transporte										
		Total	FFCC		Carretero		Marítimo		Ducto		Otro	
			No.	%	No.	%	No.	%	No.	%	No.	%
2000	596	422	8	1.9	134	31.8	3	0.7	277	65.6	0	0.0
2001	544	406	10	2.5	149	36.7	4	1.0	243	59.9	0	0.0
2002	470	339	9	2.7	143	42.2	6	1.8	181	53.4	0	0.0
2003	454	304	7	2.3	125	41.1	2	0.7	170	55.9	0	0.0
2004	502	280	4	1.4	99	35.4	2	0.7	175	62.5	0	0.0
2005	455	279	11	3.9	121	43.4	1	0.4	143	51.3	3	1.1
2006	362	219	2	0.9	102	46.6	4	1.8	111	50.7	0	0.0
2007	405	268	8	3.0	118	44.0	2	0.7	140	52.2	0	0.0
2008	350	217	7	3.2	133	61.3	2	0.9	74	34.1	1	0.5
2009	368	219	6	2.7	138	63.0	3	1.4	72	32.9	0	0.0
2010	339	229	5	2.2	143	62.4	2	0.9	78	34.1	1	0.4
2011	426	271	7	2.6	161	59.4	4	1.5	99	36.5	0	0.0
2012	618	402	9	2.2	177	44.0	4	1.0	210	52.2	2	0.5
2013	606	394	4	1.0	148	37.6	6	1.5	236	59.9	0	0.0
2014	1095	837	7	0.8	136	16.2	1	0.1	692	82.7	1	0.1
Total:	7590	5086	104	2.0	2027	39.9	46	0.9	2901	57.0	8	0.2

Figura 9 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA (Período 2000 – 2014) Número, Ubicación y Medio de Transporte de las Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA.

De la información anterior, se desprende que la localización de accidentes en la República Mexicana se presenta en número superior en forma terrestre; sin embargo, esto no quiere decir que sean los que mayor daño provoquen al ambiente, dado que gran parte de los siniestros acontecidos en el medio marítimo han tenido consecuencias catastróficas sobre los recursos bióticos, principalmente en los marinos, por tratarse de sistemas muy frágiles.

Así también, se puede apreciar que el mayor número de eventos analizados por la PROFEPA en el período 2000 – 2014, se vincula con fugas o derrames, lo cual tiene relación directa con el tipo de sustancias principales ligadas con accidentes, mencionadas anteriormente, destacando el petróleo, la gasolina, el diesel, el combustóleo, el amoniaco y el Gas L.P.

Estadísticas de fallecimientos relacionados con el manejo, transporte de gas natural.

En 1989, había más de 1.6 millones de millas (2.6 millones de km.) de ductos de gas natural en los E.E.U.U. (Departamento de Transporte de los E.E.U.U., 1989). Este departamento ha mantenido registros de fallas o fugas reportadas que incluyen los cálculos de costos de daños, lesiones y muertos desde 1979 (Asociación Americana de Gas 1990). Debido a que en 1984 se cambiaron los requisitos de dichos informes, haciendo difícil combinar los datos anteriores y posteriores a estas fechas. Se seleccionaron los datos desde 1984 hasta 1989 junto con otras fuentes para realizar el análisis que se presenta en esta sección.

Tal como las estadísticas americanas lo muestran, los gasoductos son una de las modalidades de transporte disponible más seguras (Departamento de Transporte de los E.E. U.U., 1989). Tomando como base el millaje calculado de ductos de gas de 1989 y los datos de desempeño entre 1984 y 1989 mencionados anteriormente, la incidencia anual de fugas de gas de gasoducto es menor de una por cada 6,500 millas y la incidencia anual de ruptura es menor de uno por cada 10,000 millas.

La tabla siguiente enumera las muertes a causa de las diferentes modalidades de transporte en 1989. Tal como se muestra en esta tabla los gasoductos tienen las tasas anuales de muerte más baja (0,08%) de todas las modalidades enumeradas.

Tabla 16 Estadísticas de fallecimientos relacionados con el transporte- 1989

Modalidades de Transporte:	Muerte:
Carros de pasajeros	24,929
Camiones y vagonetas	9,365
Motocicletas y bicicletas	4,147
Peatones	6,525
Otra carretera	668
Aviación	1,158
Marítimo	991
Ferrocarril	601
Recreación	896
Tránsito	801
Otro comercial	95
Gasoductos	39

FUENTE: Compendio NTSB Vol. 9, No.S. Programa de Manejo: Dames& Moore, 1996.

Del 100% de las muertes reportadas en relación con ductos, los gasoductos representaron menos del 0,059% del total de muertes en el transporte.

En el cuadro siguiente, se muestra una comparación de las muertes relacionadas con el transporte de gas y los ductos en general con otras muestras de muertes accidentales.

Comparado con el total de muertes accidentales, el número de muertes con gasoductos desciende a una tasa aún más baja, menor al 0,03% del total nacional.

Tabla 1 Estadísticas de fallecimientos relacionados con accidente en EE. UU 1989.

Tipo de accidente:	Muertes:
Vehículos Motorizados	46,900
Caídas	12,400
Envenenamiento	6,500
Ahogamiento	4,600
Sofocación por ingestión de objeto	3,900
Armas de fuego	1,600
Otro	14,200
Ductos	39
Ductos de Transporte de gas	22

NOTAS

* Todos los datos fuera de lo observado son estadísticas de 1989 según "Hechos de Accidentes" Edición 1990, Consejo Nacional de Seguridad Chicago, Il.

** Incluyen las Complicaciones Médicas, Transporte Aéreo, Maquinaria, Sofocación Mecánica, Golpe por Caída de Objeto, etc.

*** Departamento de Transporte de los EE.UU., 1989.

1.3.1. Identificación de las Causas de los Accidentes

a) Errores Humanos

Los errores humanos se originan por un sin número de causas y que no son necesariamente atribuibles a los operadores, ya que la organización o bien las condiciones del centro de trabajo, influyen en gran medida.

El error humano incluye actitudes o prácticas incorrectas (inseguras) que originan como consecuencia que una persona no logre el objetivo o propósito deseado, esto es, por omisiones, acciones equivocadas o insuficiencia en los requerimientos de ejecución.

El origen de los errores humanos presenta diversas vertientes, destacando:

- Administración inadecuada.
- Distracción o fatiga.
- Falta de concentración o de memoria.
- Negligencia.
- Fallas personales por falta de o entrenamiento inadecuado.
- Secuencia indebida en la operación por deficiencias en el entrenamiento (incluye la falta de evaluación de operarios).
- Interrupción de operaciones en un momento no pertinente, por capacitación deficiente o negligencia.
- Condiciones ambientales relacionadas con la empresa.

De hecho, durante el análisis de los accidentes ocurridos en las diferentes instalaciones, el ambiente de trabajo es, probablemente, el factor que más contribuye a la causa de errores humanos, debido a que si los señalamientos o la presentación de información no resultan claros y evidentes, el acceso a los dispositivos de seguridad es complicado, o si las áreas operativas son reducidas, demasiado calientes o frías, o no existe una disposición ordenada, es muy alta la probabilidad de que los operadores cometan faltas.

Otro factor que es motivo de causa de accidentes por error humano, se refiere a los hábitos de trabajo inadecuados, incluyéndose deficientes prácticas de trabajo para llevar a cabo la producción, suministro o trasiego de combustibles, manejo de vehículos utilitarios (implicando el provocar rotura de tuberías y recipientes de almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, por impacto con vehículos), realización de actividades de mantenimiento (reparaciones improvisadas o mal realizadas) y aplicación de medidas de control y protección de riesgos (instalación y ubicación deficiente de equipos y dispositivos contra incendio).

En cuanto a la administración, una situación de riesgo se induce por acostumbrar operaciones sin tener recordatorios, mediante capacitación o campañas de seguridad continuas, referentes a las condiciones de riesgo específicas en el centro de trabajo.

b) Fallo de equipos

Algunas de las fallas más frecuentes, ligadas con la generación de accidentes, son:

- Operación de equipos e instalaciones obsoletas y en malas condiciones.
- Falta de inspección y de mantenimiento de equipos y accesorios, con lo que pueden presentar fracturas u orificios originados por corrosión en elementos metálicos. A este respecto, se incluyen las fallas o accidentes mecánicos producidos en equipos de proceso por desgaste o mala operación, lo cual puede debilitar las instalaciones ocasionando eventos de riesgo.
- Instalación inadecuada de válvulas y demás accesorios de seguridad en los sistemas operativos, referentes a procedimientos y selección de materiales deficientes.
- Defectuosa calidad en la manufactura de válvulas y accesorios de calidad.
- Fugas y derrames ocasionados por deficientes prácticas de mantenimiento (falta de procedimientos, instrumentos y personal calificado).
- Rotura de tuberías y recipientes de almacenamiento de sustancias químicas peligrosas, por impacto con vehículos utilitarios o de proveedores.
- Fugas y explosiones provocadas por incendios en áreas contiguas.
- Explosión por sobrepresión en recipientes de almacenamiento, rebasándose su presión de diseño y la de la prueba hidrostática, conjuntándose con la falta de disparo de la respectiva válvula de alivio.
- Reparaciones improvisadas o mal realizadas.

c) Fallo de diseño o de proceso

En este rubro, los factores que más inciden en la generación de accidentes son:

- Incumplimiento a la normatividad referente al diseño y construcción de instalaciones (incluye sistemas hidráulicos, eléctricos, sanitarios, de combustibles y de manejo de insumos).
- Falta de implementación de sistemas de seguridad y de apoyo de las áreas operativas.
- Falta de instrumentación o mal estado de la existente, para medición de condiciones de operación o de detección de condiciones inseguras o de riesgo.
- Falta de sistemas de alarma o de comunicación que ayuden a que se controle oportunamente cualquier riesgo inminente.
- Instalaciones eléctricas no pertinentes para ambientes explosivos, en su caso.
- Consideraciones inadecuadas de la capacidad necesarias para la operación de los equipos de proceso.

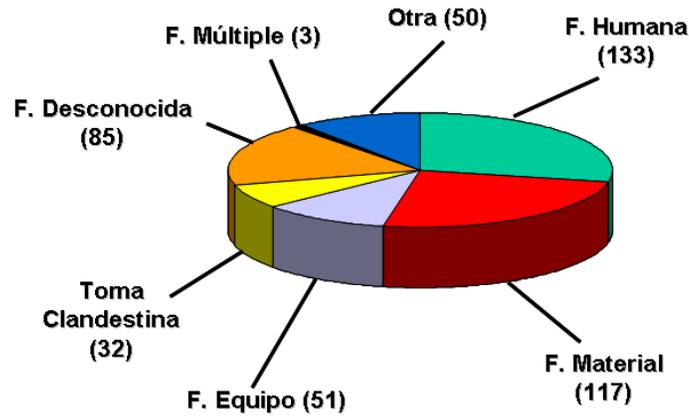


Figura 10 Tipos de falla

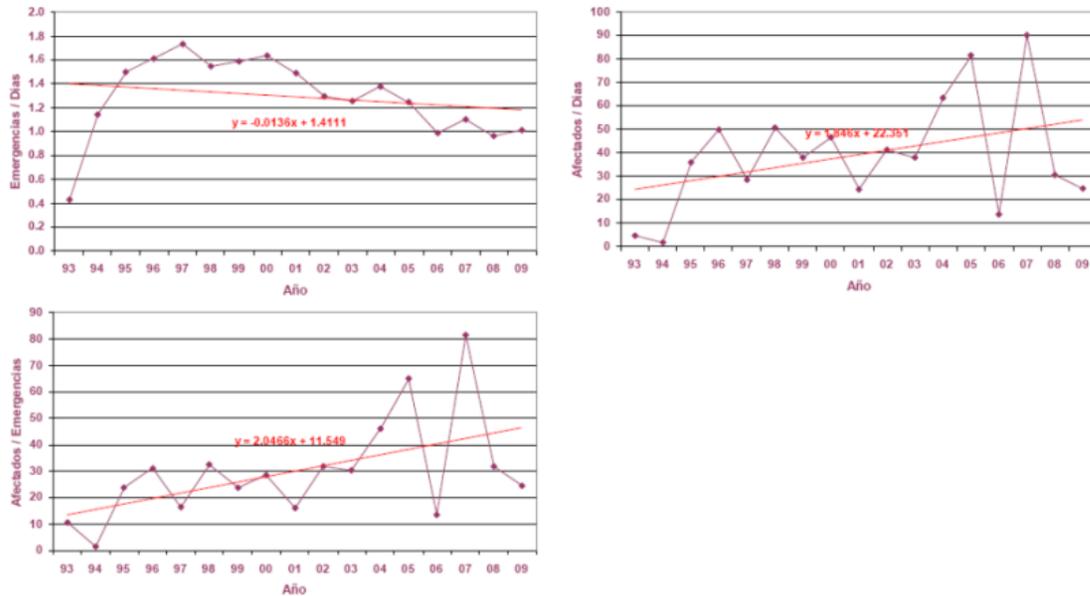
Fuente: Página electrónica www.profepa.gob.mx
Fecha de consulta: Julio 2010.

d) Alcance de los daños causados

Anteriormente, en el reporte de accidentes relacionados con el manejo de sustancias químicas en la República Mexicana, se establecieron de forma particular los daños provocados por cada uno de los accidentes registrados. De manera complementaria, a continuación, se establece una relación general entre el número de emergencia y personas afectadas en accidentes ocurridos en el país, durante el período 1993 – 2009:

AÑO	NO. DE EMERGENCIAS	AFECTADOS	AFECTADOS/ EMERGENCIA	EMERGENCIAS POR DIA	AFECTADOS POR DIA
1993	157	1,653	10.53	0.43	4.53
1994	416	667	1.60	1.14	1.83
1995	547	13,044	23.85	1.50	35.74
1996	587	18,190	30.99	1.61	49.84
1997	632	10,323	16.33	1.73	28.28
1998	538	7,792	14.48	1.47	21.35
1999	469	12,772	27.23	1.28	34.99
2000	470	16,390	34.87	1.29	44.90
2001	565	7,151	12.66	1.55	19.59
2002	470	13,881	29.53	1.29	38.03
2003	457	13,807	30.21	1.25	37.83
2004	503	23,197	46.12	1.38	63.55
2005	456	26,682	65.09	1.25	81.32
2006	362	4,932	13.62	0.99	13.51
2007	403	32,923	81.69	1.10	90.20
2008	349	11,141	31.92	0.96	30.52
2009	370	9,035	24.42	1.01	24.75
TOTAL	7998	241,785			
PROM.	470.47	14,222.65	30.23	1.29	38.97

Figura 11 Análisis Estadístico de los Daños a la Población Ocasionados por las emergencias Ambientales



Fuente: Página electrónica www.profepa.gob.mx

Figura 12 Reportadas a la PROFEPA Durante el período 1993 – 2009

Algunos de los eventos ocurridos en México referentes al transporte de gas natural se resumen en la tabla siguiente.

Tabla 18 Eventos ocurridos en México

Lugar	Fecha	Lugar	Sustancia	Evento	Consecuencias
El Pejelagartero Cárdenas, Tabasco	Noviembre 1978	Ducto	Gas Natural	Fuego/ Explosión	Pérdidas Humanas Daños Ecológicos
Villa la Venta Huimanguillo, Tabasco	Enero 1992	Ducto	Gas Natural	Fuego/ Explosión	Pérdidas Humanas Daños Ecológicos Daños Materiales
R/a Acachapan y Colmena 1ª. Sección Centro, Tabasco	Abril 1984	Área de válvulas y ductos	Gas Natural	Fuego/ Explosión	Pérdidas Humanas Daños Ecológicos Daños Materiales
Villa Benito Juárez, Cárdenas, Tabasco	Mayo 1998	Ducto	Gas Natural	Fuga/ incendio	Pérdidas Humanas Daños Ecológicos

Fuente: PROFEPA Tabasco. México 2000.

Históricamente, los ductos o tuberías son una de las formas más seguras para transportar grandes cantidades de hidrocarburos, incluyendo al gas natural. Sin embargo, la posibilidad de fuego o explosión existe aun cuando esto sea un evento extremadamente raro para cualquier tubería.

La Oficina para la Seguridad de las Tuberías (Office of Pipeline Safety) (OPS) del Departamento de Transporte de los Estados Unidos de Norteamérica (Department of Transport) (DOT), mantiene una de las bases de datos de incidentes en gasoductos más extensa del mundo.

Los datos registrados en dicha base comprenden los incidentes ocurridos en aproximadamente 482,800 km (300,000 millas) de tuberías dedicadas al transporte de gas, en un periodo superior a 30 años. Esta base de datos provee una visión de las causas y consecuencias de fallas en gasoductos.

El análisis de la base de datos revela que las causas de falla pueden ser ampliamente clasificadas en diferentes categorías:

- Defectos de construcción y/o materiales;
- Corrosión (interna y/o externa);
- Daño por fuerzas naturales (temblores, rayos, fuego, etc.);
- Fallas humanas durante la operación;
- Daño por excavaciones por terceras partes;
- Fuerzas externas desconocidas;
- Otras.

El potencial para que ocurra un accidente en gasoductos es relativamente bajo. Utilizando la base de datos OPS para hacer estimaciones, la tasa promedio de falla de ductos de gran diámetro transportando gas natural (por ejemplo, líneas con un diámetro mayor a 28") es calculada en 7.3×10^{-5} incidentes reportables por milla-año basado en datos históricos para el periodo 1985-1997 (Reporte PRCI).

La línea propuesta es un sistema nuevo que utilizará mejores materiales y avances tecnológicos para su construcción y operación. Por tanto, la probabilidad de falla debería ser mucho menor que la estadística promedio. Aun cuando se presenten fugas accidentales de gas natural, no siempre se presenta fuego ni ocurre una explosión. Dichas categorías fueron compiladas a partir de datos de fallas en ductos de grandes diámetros para la transmisión de gas natural de información obtenida de la OPS. La tabla muestra la probabilidad relativa de diferentes causas respecto a todas las causas identificadas en el Reporte GRI del año 2001.

Tabla 19 Distribución típica de las causas de fallas 1985-1999.

Causas de Falla	Porcentaje
Defectos de construcción y/o materiales	24.0
Corrosión	21.0
Daño por fuerzas naturales	9.0
Daño por excavaciones por terceras partes	30.0
Fuerzas externas desconocidas	1.0
Desconocidas/Otras	16.0
Total	100%

Nota: Se excluyen incidentes asociados con tuberías submarinas, estaciones de compresión y estaciones de regulación/medición.

Fuente: PRCI report, Analysis of DOT Reportable Incidents for Gas Transmission and Gathering System Pipelines 1985 through 1997, PR-218-9801, March 2001

Como se muestra en la tabla anterior, los defectos de construcción y/o materiales, corrosión y el daño por excavaciones por terceras partes son las causas más frecuentes de fallas en ductos, representando el 75% de las fallas. Las causas de falla también se pueden clasificar por la parte del sistema de tubería involucrado tales como: válvulas, estaciones de compresión, estaciones de medición, etc.

La tabla siguiente muestra una clasificación por componente para todos los incidentes de tubería de gas natural interestatal para el periodo 1985-1999 (GRI Report, Gas Transmisión System Integrity Indicators by Incident Data Análisis, GRI 001/0207, January 2001 and Dot Transmisión Incident Database).

Tabla 20 Clasificación de incidentes en ductos por componentes del sistema

Componente con Falla	Porcentaje
Cuerpo del ducto	54.9
Accesorios	1.9
Juntas Mecánicas	2.5
Válvulas	1.3
Soldadura	10.2
Sin datos	6.9
Otros componentes	7.3
Estaciones de compresión	9.2
Estaciones de medición/regulación	5.9
Total	100%

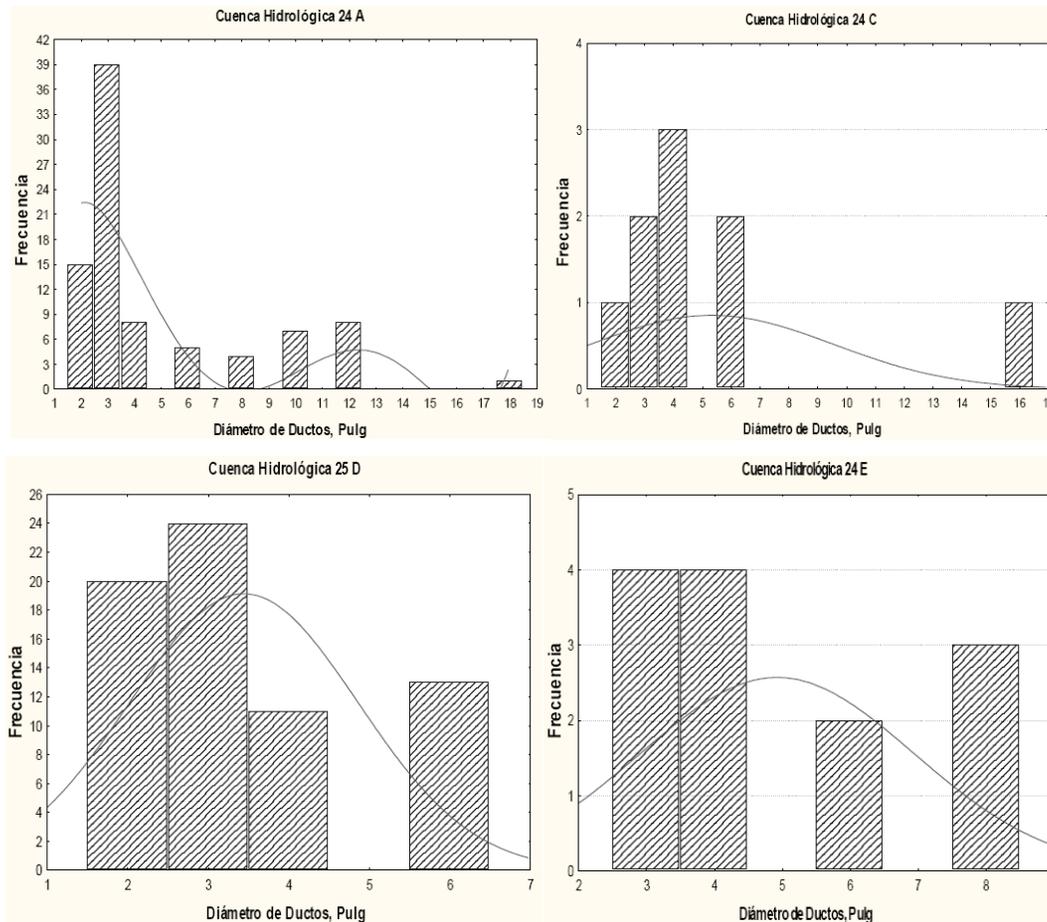
Fuente: GRI Report, Gas Transmission System Integrity Performance Indicators by Incident Data Analysis, GRI-001/0207, January 2001.

Como se muestra en la tabla anterior, las fallas asociadas con el cuerpo del ducto comprenden casi el 55% de los incidentes reportados. Relacionando lo anterior con la tabla donde la causa más probable de los incidentes mayores en la tubería es el daño causado por terceros mediante el golpe y perforación de los gasoductos durante actividades de excavación, perforación, barrenamiento, u otras actividades cerca del ducto.

El análisis DOT reporta que una ruptura del gasoducto se esperaría que ocurriera en únicamente un tercio de todos los casos. Adicionalmente, la ignición en promedio ocurriría únicamente en el 30% de los casos de fuga (U.S. Federal Emergency Management Agency, Department of Transportation, and Environmental Protection Agency, Handbook of Chemical Hazard Análisis Procedures, 1989). Del porcentaje de gas que puede encenderse, alrededor del 70% permanece como fuego y el 30% puede explotar. La ligereza del gas reduce estos riesgos.

Por otro lado, de la experiencia de la aplicación de los programas de mantenimiento a ductos de PEMEX, de la Cuenca de Burgos se identificaron aquellos que, debido a la mayor frecuencia de fugas, debidas a corrosión externa (CE) y/o a corrosión interna (CO), han incrementado la probabilidad de tener una condición de ruptura en el caso de una sobre presión en el sistema. En la siguiente ilustración se observa la distribución de fugas, de 1/16 a ½ pulg. de Φ equivalente, para los diferentes ductos agrupados según su diámetro.

Tabla 21 Histogramas de frecuencia de localización de fugas en tuberías de diferente diámetro



Frecuencia

Para determinar la frecuencia de accidentes en el ducto se consideró que de acuerdo con el Anexo F de U.S. Federal Emergency Management Agency, Department of Transportation, and Environmental Protection Agency, Handbook of Chemical Hazard Analysis Procedures, 1989; se establece un fallo promedio de 1.5×10^{-3} incidentes/ milla-año para líneas con un tamaño menor a 20” de diámetro.

En este caso se determinó para la longitud de un ducto de 2,000 m (1.4 millas) y de diámetro de 12” se tiene que:

$$\text{Frecuencia (fallo en el ducto)} = (1.5 \times 10^{-3}) (1.4 \text{ millas}) = 0.0021 \times 10^{-3} \text{ incidentes/año.}$$

Es decir, de acuerdo con este estimado un ducto de 2,000 m, tiene muy poca probabilidad de falla, adicional a que el material fue seleccionado y probado adecuadamente, y se contó con el uso de tecnología adecuada para su colocación y operación.

Descripción y valoración de las medidas aplicadas y, si es posible, de las estudiadas para evitar la repetición del accidente.

En referencia al reporte de accidentes relacionados con el manejo de sustancias químicas en la República Mexicana, la medida coincidente aplicada por los respectivos involucrados en eventos de derrames fue la aplicación de bloqueo al flujo de la sustancia y limpieza de la zona afectada. En algunos casos fue posible la recuperación del producto.

De cualquier forma, todos los reportes de accidentes incurridos en instalaciones, al ser del conocimiento por la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, requieren de una reevaluación de sus Estudios de Riesgo Ambiental, así como sus correspondientes Programas para la Prevención de Accidentes.

Particularmente para el proyecto de estudio, es necesario indicar que, entre las medidas establecidas para evitar la repetición de algunos accidentes registrados en la estadística nacional, se encuentra antes que todo, el hecho de que la ingeniería del ducto para Gas Natural fue diseñada y será construida en estricto apego de las Normas Oficiales Mexicanas. Bajo esta consideración, se determina que el ducto cumplió y cumplirá con los requisitos mínimos técnicos y de seguridad que se deben observar en el territorio nacional para esta clase de instalaciones.

En cuanto a la ejecución de actividades de distribución, se seguirá un conjunto de procedimientos operativos previamente establecidos, encaminados a la prevención de accidentes y promoción de un desarrollo seguro de las labores.

Adicionalmente, se debe señalar que las condiciones de **construcción y operación del sistema de transporte para suministro de gas natural al Parque Industrial Colinas del Lago, ubicado en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco**, se sujetará a una evaluación del cumplimiento estricto con respecto a las especificaciones marcadas en la normatividad técnica vigente.

I.4. Metodologías de Identificación y Jerarquización

I.4.1. Criterios de selección de metodologías empleadas para identificación de riesgos

Dado que el propósito de la evaluación de riesgos es identificar posibles accidentes, determinar su causa y sus consecuencias. Con este fin se define un accidente como la secuencia de sucesos imprevistos que provocan consecuencias no deseadas. Generalmente existe un suceso indicador y otro intermedio entre este y la aparición de la consecuencia.

Estos sucesos intermedios son la respuesta del sistema ante el suceso indicador. Por lo tanto, el mismo suceso indicador puede provocar una consecuencia distinta en función de las intermedias.

Basado en lo anterior los procedimientos de evaluación predicativa de riesgos han sido desarrollados para el análisis de procesos, sistemas y operaciones que difieren de la experiencia previa que ofrecen las técnicas de buena práctica. Estas pueden utilizarse incluso para evaluar accidentes muy poco probables de consecuencias muy grandes para los que no hay experiencias o estas son muy pobres.

Sabemos también que hay esencialmente dos aproximaciones a la evaluación y control de riesgos: la buena práctica y la evaluación predictiva de riesgos.

Durante años la industria química ha aceptado y aprobado normas, códigos, procedimientos y otras formas de buena práctica, suponiendo que estas han sido implementadas correctamente tanto en el diseño como en la construcción, operación, mantenimiento cambios en equipo y diseño es obvio que se alcanzan muy altos niveles de seguridad.

Sin embargo, cuando existen desviaciones en el proceso, procedimientos etc. De los establecidos previamente surge la necesidad de disponer de una herramienta para la identificación de riesgos y determinación de los accidentes susceptibles de aparecer como consecuencias de los mismos, por lo que a continuación se describe de manera general los criterios de selección de la metodología empleada para este estudio.

Su selección se realiza según los siguientes parámetros:

- Objeto. ¿Que buscamos?
- Momento. ¿Cuándo lo vamos a utilizar? (en fase de diseño, operación, etc.)
- Resultados ¿Lista, Ranking de riesgos, etc.)
- Naturaleza de resultados ¿Cuantitativos / cualitativos?
- Información Necesaria ¿Proyectos, operación, procesos, etc.?
- Personal ¿Calificación y número de participantes?
- Tiempo y costo ¿Disponibilidad de recursos?

Los métodos de evaluación de riesgos más utilizados en la industria química para identificar desviaciones de la “buena práctica son: Lista de Chequeo y Revisiones de seguridad” otra aproximación que requiere experiencia previa son los índices Dow/Mond que permiten confeccionar un ranking de riesgo.

Para un análisis predictivo de riesgo se utiliza la técnica HAZOP (estudio de riesgo y operatividad), análisis de modos de fallo efecto y criticidad (FMECA), el método “what if” (que pasa si) y el análisis de árboles de fallo complementado con el análisis de árbol de sucesos.

Considerando además de lo anteriormente expuesto las características particulares del caso estudio como son:

- Las sustancias manejadas en la empresa, consideradas como peligrosas ya sea por su toxicidad, explosividad, reactividad, inflamabilidad y corrosividad que pueden ocasionar un daño a la salud pública o al equilibrio ecológico del sitio.
- Las cantidades manejadas, volúmenes almacenados, procesados y/o los desechos generados
- Las características y complejidad de los procesos en que se utilizan estas sustancias

Basados pues en todos estos factores y aunado al hecho de que **la planta generadora de energía eléctrica** desarrollará el estudio para el suministro de gas natural en su predio y al usuario final, el presente estudio se desarrollará bajo las técnicas Lista de Verificación, índices Dow/Mond y Hazop.

Las cuales presentan las siguientes características

- Técnica: What if
- Fase de la planta: Diseño / Arranque
- Objetivo: Fallos técnicos
- Procedimientos de operación
- Fallo humano
- Consecuencia
- Resultados: Cuantitativos
- Reducción del riesgo
- Complejidad del sistema Simple / medio
- Datos necesarios: Detallados / entrevistas
- Tiempo/costo Relativamente bajo/medio
- Medios humanos Especialista en planta
- Especialista en seguridad.

I.4.2. Factores de Riesgo.

Para la evaluación de riesgo se consideraron las siguientes etapas del proceso:

- Conexión con ducto;
- Línea de transporte de gas, desde conexión con separador hasta válvula de conexión;
- Estación de medición y regulación de gas natural.

Las variables de proceso que se aplicaron fueron:

- Flujo;
- Presión,
- Temperatura, y
- Nivel.

I.4.3. Identificación de los Riesgos Potenciales

En el análisis de la estimación de las consecuencias de las emisiones accidentales a la atmósfera de contaminantes o sustancias peligrosas como puede ser el gas natural, uno de los aspectos clave a considerar es su dispersión en el medio ambiente.

Una de las características principales que condiciona la evolución de un gas/vapor en la atmósfera es su densidad, distinguiéndose tres posibilidades:

- Gases ligeros. Densidad inferior a la del aire.
- Gases pasivos o neutros. Densidad similar a la del aire.
- Gases pesados. Densidad mayor que la del aire.

Para efectos prácticos no se puede hablar, en la mayoría de los casos, de un comportamiento puro de gas ligero neutro o pesado, ya que los factores que influyen en él son múltiples y variables en el tiempo y una mezcla gas/aire puede evolucionar como un gas pesado sin serlo debido a:

- Peso molecular del gas.
- Temperatura del gas.
- Temperatura y humedad del aire ambiente.
- Presencia de gotas líquidas arrastradas en la emisión.
- Reacciones químicas en la nube, etc.

Otra característica es la duración de la fuga, que puede dar lugar a:

- Fugas instantáneas formando una bocanada ("puf").
- Fugas continuas sin depender del tiempo, formando un penacho ("plume").
- Fugas continuas dependiendo del tiempo.

La mayoría de los incidentes por fuga empiezan con una descarga de un producto peligroso desde su fuente original. Estos incidentes se pueden originar por orificios o roturas de recipientes de proceso, por juntas de unión en bridas, o por válvulas y venteos de emergencia, por destacar las causas más frecuentes.

Los escapes pueden ser en forma de gas, de líquido o en fase mixta líquido-gas; nosotros trataremos únicamente el primer tipo, si bien debe señalarse que en fase líquida y mixta la aportación másica del escape es muy superior y la velocidad de evaporación determinará la cantidad aportada para la formación de la nube. De ahí la peligrosidad de escapes de gases licuados del petróleo o gasolinas.

Fuga puntual continúa.

El modelo Gaussiano de fuente puntual continua que se va a analizar en este documento supone como hipótesis de partida que las concentraciones del gas natural en cualquier punto considerado viento abajo están estabilizadas y no dependen del tiempo. Este modelo describe el comportamiento de los gases/vapores de fuerza ascensional neutra, que se dispersan en la dirección del viento y son arrastrados a la misma velocidad.

Respecto a los gases pesados una configuración típica de una fuga a nivel del suelo se muestra en la ilustración siguiente.

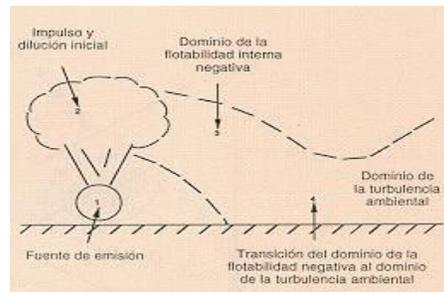


Figura 13 Desarrollo y dispersión de una nube de gas pesado

Los gases pesados muestran una elevación inicial del penacho debido al impulso de salida, como sucede en toda fuga, seguida de una cierta caída en curva por influencia de su densidad. Comparándolos con los gases neutros se ve que los gases pesados presentan en los momentos iniciales un comportamiento distinto. Sin embargo, al cabo de un cierto tiempo y a medida que se diluyen en el aire, las características y el comportamiento se pueden asimilar a los de un gas neutro. Si la fuga de un gas pesado es de una proporción o intensidad de descarga moderadas, se puede tratar aceptablemente con el modelo Gaussiano de gas neutro que es de aplicación mucho más sencilla, especialmente si lo que queremos es estudiar lo que sucede en puntos que no sean excesivamente próximos al punto de emisión.

En resumen, en caso de que se presente una fuga de material inflamable, el mayor peligro proviene del repentino escape masivo de gas, el cual produce una gran nube de vapor inflamable y posiblemente explosiva. Si la nube se llega a incendiar, los efectos de la combustión dependerán de múltiples factores, entre ellos la velocidad del viento y la medida en que la nube este diluida con el aire. Estos riesgos pueden causar un gran número de víctimas y daños al lugar en donde se producen e inclusive más allá de sus fronteras (zona de influencia).

Explosión.

Una explosión de Gas natural se puede presentar de dos formas:

- Por la formación de nubes explosivas en lugares confinados
- Una **nube explosiva** se forma por la acumulación del gas proveniente de una fuga en un área determinada. Al estar mezclada con el aire en las condiciones adecuadas (encontrarse entre el límite superior e inferior de explosividad de la sustancia) y encontrar una fuente de ignición la nube puede deflagrar, liberando una gran cantidad de energía en forma de calor y como ondas de sobrepresión.

Las causas para la formación de una **nube explosiva**, en el sistema de transporte de Gas natural, son las siguientes:

- Fuga en línea de distribución debido a corrosión y falta de mantenimiento conjugados
- Fuga en el cuerpo de equipos de regulación y/o medición debido a corrosión y falta de mantenimiento conjugados
- Fuga en válvulas debido a mal funcionamiento
- Ruptura de tubería por colisión

El **gas natural** forma mezclas inflamables con el aire en concentraciones que oscilan aproximadamente entre el 4.5% y el 14.5%. Por consiguiente, una fuga puede constituir un riesgo de incendio y explosión. Ha habido casos en que escapes de **gas natural** se han inflamado, provocando incendios graves. Si el **gas natural** se escapa en un espacio cerrado y se inflama, se puede producir una explosión. Si la parte aérea de un ducto de **gas natural** está en medio de un incendio, puede calentarse excesivamente y explotar con violencia, proyectando trozos del recipiente a considerables distancias.

En concentraciones muy elevadas, cuando está mezclado con el aire, el vapor de **gas natural** es anestésico y posteriormente asfixiante al desplazar el oxígeno disponible.

Una superficie caliente también es una fuente potencial de ignición.

Aunque es muy difícil de presentarse, las posibles causas de este fenómeno son las siguientes:

- Sobrecalentamiento del ducto por una fuga incendiada no controlada
- Incendio de origen externo que afecta al recipiente
- No tomar las precauciones adecuada al efectuar reparaciones

Incendio.

El incendio tipo “antorcha” se ve relacionado con una fuga localizada del gas a presión, misma que al encontrar de forma casi inmediata una fuente de ignición, produciría la combustión del energético dando lugar a un fuego semejante al dardo de un soplete.

Las dimensiones del incendio se verán directamente relacionadas a la cantidad de material fugado y su tiempo de desarrollo.

Las condiciones meteorológicas y la duración del escape tienen una gran importancia en el alcance de la dispersión del penacho. Los factores principales son: la velocidad del viento y la estabilidad atmosférica. La estabilidad atmosférica viene definida en función del gradiente vertical de temperatura de las capas del aire. Dado que no siempre es posible disponer de esta información, a través de una tabla establecida por Pasquill (puede obtenerse la categoría de estabilidad atmosférica estimada según las condiciones de insolación y velocidad del viento).

Tabla 22 Condiciones de estabilidad meteorológica de Pasquill

Velocidad del viento (m/s) a 10 m de altura	Insolación diurna			Condiciones nocturnas	
	Fuerte	Moderada	Ligera	Finamente cubierto ó más de la mitad cubierto	Nubosidad $\leq 3/8$
<2	A	A-B	B		
2-3	A-B	B	C	E	F
3-4	B	B-C	C	D	E
4-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

1.5. Aplicación de las Metodologías de Análisis y Evaluación de Riesgos Potenciales

Las metodologías que se utilizarán para la determinación del riesgo involucrado en el manejo de la sustancia química peligrosa relacionada a la operación del sistema de transporte son los métodos conocidos como **Lista de verificación, Índices Dow/Mond y HAZOP (Hazard and Operability)**.

1.5.1. Índice Dow/Mond

Para el desarrollo de esta etapa se optó por aplicar una metodología semicuantitativa para la jerarquización de los riesgos, la cual, aunque no llega al detalle y rigor de una evaluación cuantitativa, supone un avance hacia ello desde los métodos cualitativos, dado que el resultado obtenido es una clasificación relativa del riesgo asociado a la planta o a partes de la misma.

Este método conocido como “Índice de Mond” fue desarrollado por técnicos de Imperial Chemical Industries (ICI) a partir del Índice DOW. La primera versión fue publicada en 1979 y la segunda en 1985.

Dicho método se basa en la asignación de penalizaciones y/o bonificaciones a diferentes áreas e instalaciones de una planta química.

Las penalizaciones son asignadas en función de las sustancias presentes y las condiciones de proceso.

Dichas bonificaciones tienen en cuenta las instalaciones de seguridad que pueden mitigar o prevenir efectos adversos a la operación de la instalación.

Esta metodología encuentra su empleo como método de clasificación previa en grandes unidades o complejos como la que estamos estudiando, permitiendo de esta forma identificar y clasificar las áreas con mayor riesgo potencial, a las que se deben aplicar otro tipo de eventos de mayor interés tomando en cuenta los escenarios de incidentes más recurrentes y sus efectos, de una manera objetiva y práctica. La principal diferencia frente al “Índice DOW” es que se considera la toxicidad de las sustancias presentes como un factor independiente y su efecto en contacto con el ser humano.

1.5.1.1 Proceso de Cálculo del Índice de Mond

El proceso de cálculo del Índice Mond puede verificarse en la descripción de las fases siguientes:

I.5.1.2 Primera Fase de Cálculo

Considera la unidad en su forma más básica con el número mínimo de controles necesarios para su operación normal.

Se mide la energía de la unidad acorde con la magnitud del material que contiene y consiste en determinar.

- Material o mezcla principal
- Factor de Material (B)

I.5.1.3 Segunda Fase de Cálculo

Considera los factores que pueden agravar el riesgo y consiste en ponderar cada una de las siguientes variables:

Riesgos Especiales del Material

- Productos Oxidantes
- Da lugar a gas combustible con agua
- Características de mezcla y dispersión
- Puede inflamarse espontáneamente
- Puede polimerizar espontáneamente de forma rápida
- Sensibilidad a la ignición
- Puede dar descomposición explosiva
- Puede dar lugar a detonación del gas
- Propiedades de la fase condensada
- Otros

Se obtiene un Factor de Riesgo Especial del Material (**M**)

Riesgos Generales del Proceso

- Manejo y cambios físicos
- Características de la reacción
- Reacciones Batch
- Multiplicidad de reacciones
- Desplazamiento de material
- Contenedores Transportables

Se obtiene un Factor de Riesgo General del Proceso (**P**)

Riesgos Especiales del Proceso

- Baja presión
- Alta presión
- Baja temperatura
- Alta temperatura
- Corrosión y erosión
- Fuga por juntas y cierres
- Vibración, fatiga, etc.
- Reacciones difíciles de contemplar
- Operación cercana al rango de inflamabilidad
- Oxidantes potentes
- Sensibilidad del proceso a la ignición
- Riesgo de electricidad estática

Se obtiene un Factor de Riesgos Especiales del Proceso (**S**)

Riesgos Asociados a las Cantidades

- Cantidad total de material (**K**)
- Factor de cantidad (**Q**)

Riesgos Asociados a la Implantación

Altura en metros (**H**)

Área de Trabajo en m² (**N**)

- Diseño de la estructura
- Efecto dominó
- Bajo tierra
- Superficie de drenaje
- Otros

Se obtiene un Factor de Riesgo de Implantación (**L**)

Riesgos Asociados a Daños Graves a la Salud

- Efectos sobre la piel
- Efectos por inhalación

Se obtiene un Factor de Riesgos Graves a la Salud (**T**)

***Tercera Fase de Cálculo.* - Determinación de los Factores de Bonificación**

Considera los factores que pueden abatir el riesgo y consiste en ponderar cada una de las siguientes variables:

Riesgos Asociados a la Contención

- Recipientes a presión
- Tanques verticales atmosféricos
- Tuberías de Transferencia
- Detección y respuestas frente a una fuga o derrame
- Alivio de presión de emergencia

Se obtiene un Factor de Riesgos Asociados a la Contención (**K1**)

Riesgos Asociados al Control del Proceso

- Sistemas de alarma
- Suministros eléctricos de emergencia
- Sistemas de refrigeración
- Sistemas de inertización
- Actividades de estudios de riesgos
- Sistemas de seguridad de paro de la planta
- Control computarizado
- Protección de reactores
- Procedimientos de operación
- Supervisión de la planta

Se obtiene un Factor de Control del Proceso (**K2**)

Actitud con Respecto a la Seguridad

- Implicación por parte de la dirección
- Entrenamiento de seguridad
- Procedimientos y mantenimiento de seguridad

Se obtiene un Factor de Actitud Frente a la Seguridad **(K3)**

Protección Contra Incendio

- Protección Estructural contra el fuego
- Barreras y/o muros contra el fuego
- Equipo de protección Contra incendio

Se obtiene un Factor de Protección Contra Incendio **(K4)**

Aislamiento

- Sistemas de válvulas
- Ventilación
- Procedimientos y mantenimiento de seguridad

Se obtiene un Factor de Aislamiento de Fugas **(K5)**

Lucha Contra Incendios

- Alarmas de incendio
- Extintores manuales
- Suministro de agua
- Rociadores de agua o monitores
- Instalación de espuma o inertización
- Brigada contra incendio
- Pactos de ayuda mutua en caso de incendio
- Ventilación de gases

Se obtiene un Factor de Lucha Contra Incendios **(K6)**

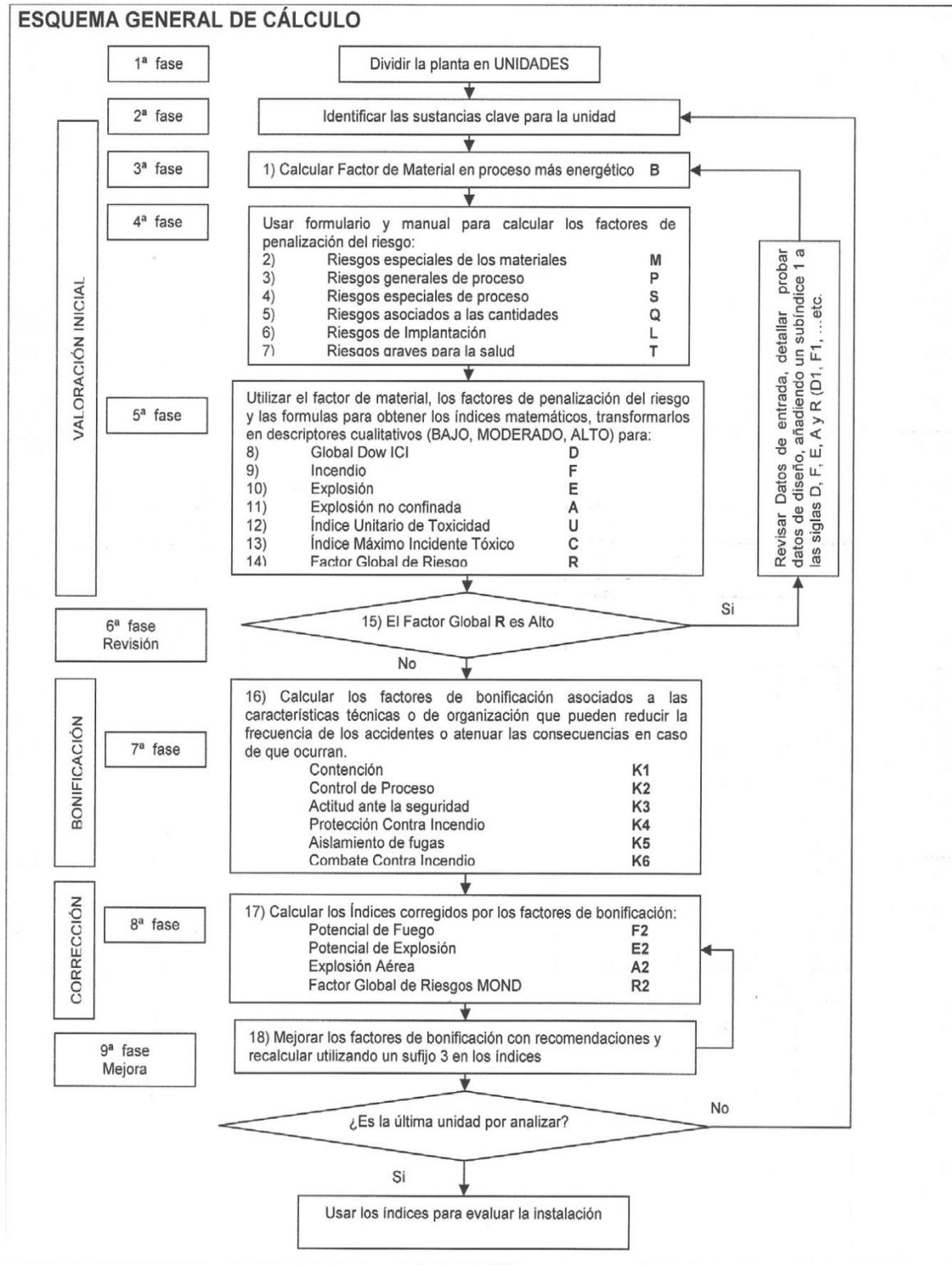


Figura 14 Diagrama de Flujo del Método (Índice Mond)

I.5.1.4 Rangos de Clasificación de los Diferentes Índices Calculados

Cálculo del Índice Global DOW/ICI

Los factores individuales incluidos en los diferentes rubros se totalizan en varios subgrupos que después, se incluyen en el Índice Global DOW/ICI **D**, según las bases establecidas originalmente por DOW.

Las descripciones del grado de riesgo global representado por el Índice Global DOW/ICI se estandarizan como sigue:

Tabla 23 Grado de riesgo

Rango del Índice Global DOW/ICI (D)	Grado Total de Riesgo
0 – 20	Suave
20 – 40	Ligero
40 – 60	Moderado
60 – 75	Moderadamente Alto
75 – 90	Alto
90 – 115	Extremo
115 – 150	Muy Extremo
150 – 200	Potencialmente Catastrófico
Mayor a 200	Muy Catastrófico

Cálculo de Potencial de Fuego

Se considera útil estimar el potencial de fuego de la unidad porque esto da una indicación de la duración del fuego en el caso de un incidente.

Se han dado también categorías para los valores de la cantidad de fuego **F** y se han identificado con duraciones de fuego usando datos y registros de incidentes como sigue:

Tabla 24 Registros de incidentes

Cantidad de Fuego (F) en BTU/ft ² del Área Normal de Trabajo	Categoría	Rango de Duración (Fuego-Horas)	Comentarios
0 – 50,000	Ligero	¼ - ½	
50,000 – 100,000	Bajo	½ - 1	Casas
100,000 – 200,000	Moderado	1 – 2	Fábricas
200,000 – 400,000	Alto	2 – 4	Fábricas
400,000 – 1'000,000	Muy Alto	4 – 10	Edificios ocupados
1'000,000 – 2'000,000	Intenso	10 – 20	Bodegas de Hule
2'000,000 – 5'000,000	Extremo	20 – 50	
5'000,000 – 10'000,000	Muy Extremo	50 -100	

Cálculo de Potencial de Explosión

En determinadas situaciones se observará que un nivel dado de categoría del Índice Global DOW/ICI, se acompañará por una cantidad de Fuego de menor categoría. Esto indica que se deben examinar variaciones en el Riesgo de Explosión, lo que se hace de las dos siguientes formas:

Se calcula un Índice **E** de explosión interna de la planta, como una medida del riesgo de explosión interior. Las categorías asignadas a los valores del Índice son:

Tabla 25 Potencial de explosión

Índice de Explosión Interna de la Sección (E)	Categoría
0 – 1	Ligero
1 – 2.5	Bajo
2.5 – 4	Moderado
4 – 6	Alto
Arriba de 6	Muy Alto

Esto no representa el único potencial de explosión de la sección, como lo confirma el consenso general acerca de los riesgos de explosión aérea. De un estudio de un gran número de escapes de sustancias inflamables que han dado lugar ya sea a explosiones aéreas o a nubes que han causado únicamente fuego por ignición, ha sido posible identificar un número de factores incluidos en el Índice de Mond y que pueden usarse para derivar el Índice **A** de Explosión Aérea.

Las categorías asignadas a varios valores de **A** son:

Tabla 26 Índice de explosión varios valores A

Índice de Explosión Aérea (A)	Categoría
0 – 10	Ligero
10 – 30	Bajo
30 – 100	Moderado
100 – 500	Alto
Arriba de 500	Muy Alto

Cálculo de Riesgos de Toxicidad

Un índice unitario de Toxicidad **U** se calcula de manera que represente la influencia de la toxicidad y consideraciones afines sobre el control y supervisión de la sección de la planta. Las categorías asignadas a los valores del Índice Unitario de Toxicidad **U** son:

Tabla 27 Categorías de toxicidad (U)

Índice Unitario de Toxicidad (U)	Categoría
0 – 1	Ligero
1 – 3	Bajo
3 – 6	Moderado
6 – 10	Alto
Arriba de 10	Muy Alto

Usando una combinación del Índice Unitario de Toxicidad **U** y el Factor de Cantidad **Q**, se obtiene el Índice del Máximo incidente Tóxico **C**.

Las categorías asignadas a valores del Índice **C** del Máximo incidente Tóxico son:

Tabla 28 Categorías de toxicidad (C)

Índice del Máximo Incidente Tóxico (C)	Categoría
0 – 20	Ligero
20 – 50	Bajo
50 – 200	Moderado
200 – 500	Alto
Arriba de 500	Muy Alto

Cálculo de Factor Global de Riesgos (MOND)

En la división MOND se ha visto que la magnitud global de riesgo a usarse cuando se considera el arreglo de equipo de una planta debe tener mayor influencia de los siguientes factores que lo permitido en el Índice Global DOW/ICI.

De acuerdo a lo anterior, se ha desarrollado una Magnitud Global de Riesgos **R**, que maneja estos factores de manera más adecuada.

Las categorías asignadas a los valores del Factor Global de Riesgo **R** son:

Tabla 29 Categorías de toxicidad (R)

Factor Global de Riesgo (R)	Categoría del Riesgo Global
0 – 20	Suave
20 – 100	Bajo
100 – 500	Moderado
500 – 1,100	Alto (Grupo 1) Aceptable
1,100 – 2,500	Alto (Grupo 2) No Aceptable
2,500 – 12,500	Muy Alto
12,500 – 65,000	Extremo
Mayor a 65,000	Muy extremo

1.5.1.5 Resumen de la aplicación del índice de Mond al Estudio

El Factor **R** de Riesgo Global (más los otros índices) se pueden considerar aceptables; en caso contrario, se requerirá trabajo posterior para lograr tal objetivo.

El primer paso es revisar los factores individuales y asegurarse si se puede hacer una reducción por cualquiera de las siguientes razones:

- Si se ha sobre enfatizado un riesgo dado en la estimación general.
- Alteraciones hechas a tamaños, condiciones de operación, etc., relativas a las unidades que forman parte de la sección.
- Sustitución por diferentes tipos de equipo de proceso de aquellos seleccionados originalmente.
- Adopción de diseños de equipo que involucren menos riesgo de falla de operación de la unidad o fuga de materiales clave.

En el caso de propuestas para una planta con proceso nuevo, pueden existir pocas posibilidades de efectuar cambios a menos que se efectúe una investigación adecuada de las alternativas. Si un cambio en particular puede reducir en forma considerable el riesgo, se justifica el trabajo de investigación necesario.

Con plantas en operación, los registros y experiencia de accidentes pueden tomarse como guía para mejorar diseños y técnicas de operación. Sin embargo, debe tenerse cuidado al usar las experiencias de operación para disminuir los factores de riesgo en áreas donde no se hayan presentado accidentes.

Si no se cumple con estos requisitos, es fácil concluir que no existe riesgo y por un incidente posterior confirmar que el riesgo existía, pero no se había presentado debido a circunstancias fortuitas. Siempre que los factores de riesgo individual se reduzcan, el nuevo valor debe aparecer en una columna de "valor reducido" en los formatos correspondientes y deberá adicionarse una nota de la razón del cambio. Una vez que los cambios individuales se hayan hecho, los varios índices se deben re-calcular.

1.5.1.6 Tabulación de los resultados

A continuación, se presentarán tabulados los resultados obtenidos para cada la sección de estudio, los cuales se estructuraron a partir de los reportes del "Índice de Mond" correspondientes (*Ver tabla anexa*) y podrá de esta manera verse el grado de influencia que tuvieron para considerar y abatir los riesgos involucrados:

Sistema de Transporte de Gas Natural

Tabla 30 Resultado índices del sistema

Índice	Inicial	Valor	Categoría
Índice DOW Equivalente	D	75.90	Muy Extremo
Índice de Riesgo de Incendio	F	0.00935	Ligero
Índice de Riesgo de Explosión Interna	E	3.4	Moderado
Índice de Riesgo de Explosión Aérea	A	0.06	Ligero
Índice Global de Riesgo	R	76.74	Bajo

Tabla 31 Resultado índices con reducción

Índice con Reducción	Inicial	Valor	Categoría
Índice DOW Equivalente Reducido	D_R	75.90	Alto
Índice de Riesgo de Incendio Reducido	F_R	0.04827	Ligero
Índice de Riesgo de Explosión Interna Reducido	E_R	1.84	Bajo
Índice de Riesgo de Explosión Aérea Reducido	A_R	0.02	Ligero
Índice Global de Riesgo Reducido	R_R	19.59	Bajo

1.5.2 Conclusión del Análisis Preliminar

Al término del análisis preliminar de riesgos se puede observar que los principales riesgos son los siguientes por cada metodología ocupada:

- Lista de Verificación: A pesar de que es una lista basada en la norma, donde se evalúa que aplica y que no, y con que se cumple, nos da un vistazo en aspectos donde se debe tener extrema precaución y que no se deben de omitir:
 - * En el diseño del sistema
 - * Capacitación de personal
 - * Procedimientos y supervisión
 - * Materiales adecuados y probados
- Antecedes de Accidentes e Incidentes: Se tuvo análisis que rodeaba al gas natural y al transporte por ductos, y se tuvieron puntos que aplican al sistema, donde resaltan los principales riesgos:

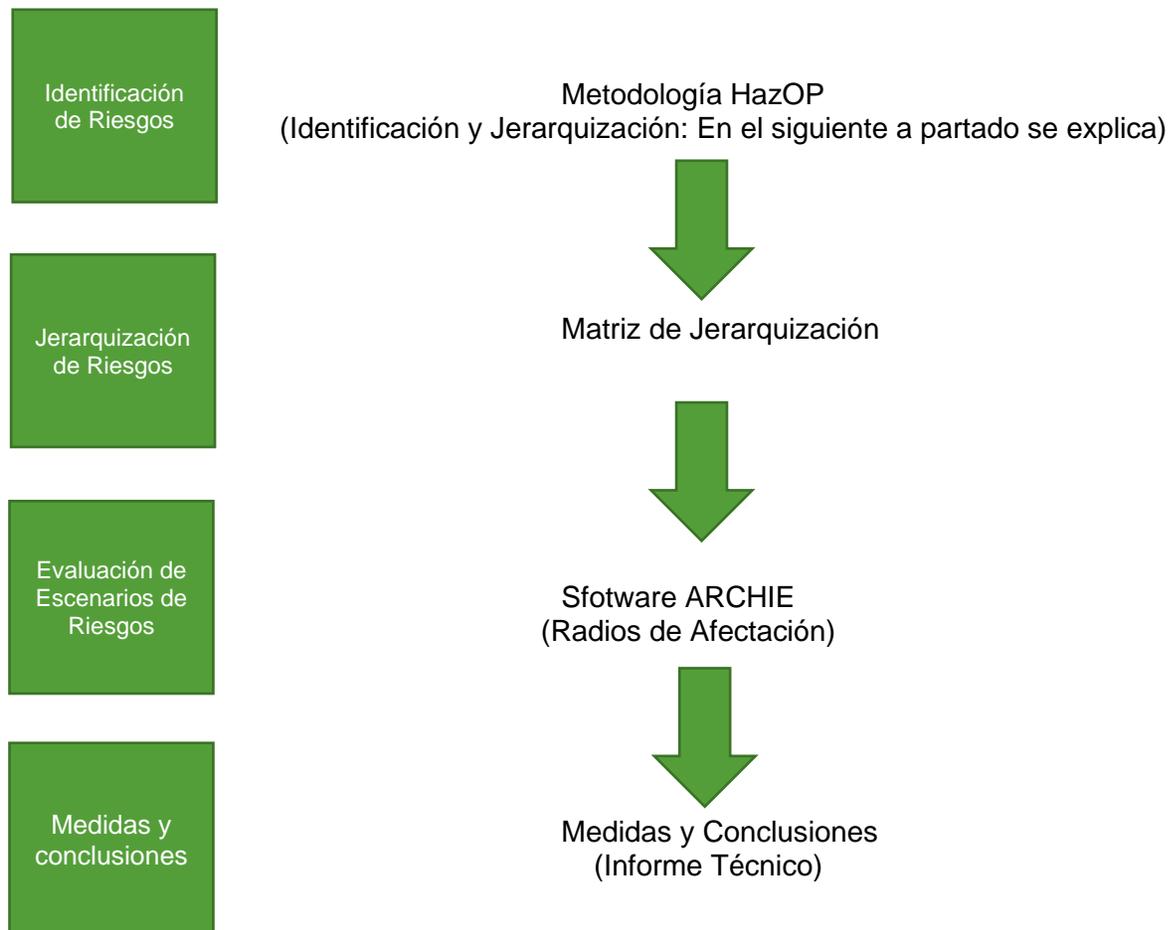
- * Factor humano: Capacitación, errores, negligencias, descuidos, y maniobras.
- * Equipos: Inadecuados, mala calidad, mala instalación de los componentes, rotura de tuberías, mala selección en el diseño, supervisión y mantenimiento.
- * Diseño: Diseño equivoco, condiciones que rebasan las de diseño, falta de instrumentación o accesorios necesarios, falta de sistemas de seguridad, instalaciones que no son a prueba de explosión.

- Índice Mond: De esta metodología solo se obtuvo un riesgo cuantitativo general de la instalación, considerandolá como una sola instalación, el cual es categorizado como Bajo, debido a todas las bonificaciones que se dieron gracias a la salvaguardas del sistema y buenas prácticas de PROASA.

Las primeras dos metodologías arrojan parámetros identificados como focos de atención donde se pueden generar riesgos, se deben evaluar con más detalle y con métodos más robustos, con el fin de tener una identificación más puntual, jerarquizarlos y evaluarlos, con el fin de proponer las medidas adecuadas para tener el mínimo riesgo de esta interconexión física y sus elementos.

Siguientes metodologías

Tomando como base el análisis de riesgo preliminar se sugiere la utilización de las siguientes metodologías que se mencionan en el diagrama siguiente:



Justificación de la metodología seleccionada

El número de metodologías para identificar y jerarquizar los riesgos ambientales se ha ido diversificando conforme la tecnología, generación y accesibilidad de información han ido mejorando, es por ello por lo que el primer aspecto a resolver es la elección del enfoque y método adecuados con base a las características particulares del estudio y a la información base disponible.

En términos generales, los métodos existentes* varían en nivel de complejidad y requieren de distintos tipos de datos, experiencia y herramientas tecnológicas; por lo tanto, producen diferentes niveles de precisión y certidumbre, sin embargo, en general dependen en buena parte de la experiencia del grupo de expertos quien realiza el estudio.

Con base en lo anterior, se consideró como mejor opción el uso de metodologías tales como la lista de verificación, HAZOP, Matriz de jerarquización e Índice de Mond para la identificación, descripción y jerarquización de riesgos, ya que permiten un procedimiento lógico, objetivo y presentan la información de manera clara y concisa, lo que permite describir los riesgos de acuerdo con las particularidades del estudio. Mediante el uso de estas metodologías, es posible apreciar la afectación de cada riesgo, así como determinar las acciones más relevantes para cada uno de ellos.

I.5.2. HAZOP

La metodología HAZOP, es un procedimiento que permite reconocer riesgos difícilmente reconocibles por simple observación o revisiones de seguridad de tipo general. En la aplicación de esta metodología, se cuestiona a cada una de las partes críticas del proceso para descubrir que desviaciones del propósito original pueden ocurrir y determinar cuáles de esas desviaciones pueden dar lugar a riesgos al personal, al proceso o las instalaciones.

De esa forma, a continuación, se muestra el desarrollo de las citadas metodologías, aplicada a la sustancia de interés:

Para su aplicación, se partió de considerar a todo el estudio como un sistema; el cual se dividió en partes, que fueron analizadas independientemente con la finalidad de detectar las posibles desviaciones que se pudieran presentar; así como sus causas, efectos y alcance; en función de las características de operación, del equipo involucrado, de los posibles factores externos y fenómenos naturales que pudieran influir en la desviación de su funcionamiento o condiciones normales.

Las “Desviaciones” son cambios que se presentan al propósito y puestas al descubierto por la aplicación sistemática de palabras claves (que pasa sí se reduce, sí se aumenta, sí se para, sí se arranca, sí se rompe, sí se descompone, etc.).

Las “Causas” son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones, cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa.

Las “Consecuencias” son los resultados que se obtendrían en caso de que se presentaran las desviaciones.

Posteriormente, en función de la cantidad de material peligroso manejado y como consecuencia del alcance de las consecuencias, de cada parte del sistema, se procedió a calificar la magnitud de las consecuencias de las posibles desviaciones de cada parte del sistema, la cual se da con el producto de la Probabilidad (P) por la Exposición (E) por las Consecuencias (C) y se expresa de la siguiente manera:

$$MR = P \times E \times C$$

También se calificó cada parte del sistema en cuanto a la probabilidad de ocurrencia de sus desviaciones, y por consiguiente de sus consecuencias, de acuerdo a los antecedentes de riesgo registrados y de la facilidad con que podrían ocurrir. Mediante los siguientes valores:

Tabla 32 Probabilidad de ocurrencia

CALIFICACIÓN	
PROBABILIDAD DE RIESGO	
Virtualmente imposible (que prácticamente no ocurre)	0.1
Poco probable, pero posible (que puede ocurrir)	3.0
Muy probable (que puede ocurrir frecuentemente)	6.0
Altamente probable (que sí ocurre)	10.0
FRECUENCIA DE EXPOSICIÓN	
Exposición mínima	0.1
Raro (unas pocas veces al año)	1.0
Ocasional (semanalmente)	3.0
Continuo (frecuente, diario)	10.0
DESCRIPCIÓN DE LAS CONSECUENCIAS	
No graves (sin lesión alguna, casi nada de daño material)	0.5
Apenas graves (lesiones tratadas con primeros auxilios)	1.0
Seria (lesión incapacitante y daños materiales por un monto de 365 días de salario mínimo para el D.F.)	7.0
Desastre (de una a cinco defunciones y daños materiales por un monto de hasta 30 veces el salario mínimo anual para el D.F.)	40
Catástrofe (más de cinco defunciones y daños materiales por un monto mayor de 30 veces el salario mínimo anual para el D.F.)	100

Con base a los valores numéricos que arbitrariamente se han fijado para efectos de esta explicación, la interpretación de los resultados puede ser expresada de la manera siguiente:

Tabla 33 Interpretación de resultados

MAGNITUD DEL RIESGO	DESCRIPCIÓN DEL RIESGO
Mayor de 400	El riesgo es muy alto, por lo cual se debe considerar que la ejecución de la operación requiere de la aplicación de medidas de seguridad estrictas y particulares.
De 200 a 400	El riesgo es alto y requiere corrección de inmediato
De 70 a 199	El riesgo es sustancial y necesita corrección
De 20 a 69	El riesgo es posible y reclama atención
Menor de 20	El riesgo es aceptable en el estado actual

Para poder cuantificar cada parte del sistema y obtener como conclusión, su jerarquización, no se han considerado las medidas de seguridad que tendrá cada parte del sistema; ya que, para minimizar los riesgos, en la parte correspondiente a medidas de seguridad, se indican todas aquéllas que se han considerado dentro del estudio y las que se tendrían que implementar para conseguir una instalación y operación segura.

De acuerdo a lo anterior se pueden jerarquizar los riesgos en el presente estudio de la siguiente manera (resumen de casos más críticos):

Tabla 34 Jerarquización de Riesgos

	EVENTO	MAGNITUD	PROBABILIDAD
I	1.- ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN PRINCIPAL, ASÍ COMO EL TRAMO DE TUBERÍA PREVIO A SU LLEGADA	162.05	33.4
	1.1.- Deterioro de líneas y accesorios de regulación (válvulas) de gas, por falta de recubrimiento u obsolescencia (corrosión).	21.0	3.0
	1.2.- Fuga de gas en línea de llegada a caseta.	21.0	3.0
	1.3.- Fuga de gas en línea de distribución después de la caseta.	21.0	3.0
	1.7.- Falla de supervisión o de instrumentación de detección de fugas (monitoreo de condiciones de operación) o instrumentación en mal estado	9.0	3.0
	1.8.- Falta de mantenimiento (recubrimientos) de pruebas de hermeticidad periódicas, radiografiado, mantenimiento menor (pintura anticorrosiva en instalaciones superficiales en línea de conducción de gas)	9.0	3.0
	1.10.- Falta de sistemas de corte de flujo rápido en el sitio no se tienen válvulas operadas a control remoto	63.0	3.0
	II	2.- GASODUCTO DE 8" DE DIÁMETRO	122.0
2.1.- No se tiene un procedimiento ordenado de mantenimiento de tuberías y accesorios.		21.0	3.0
2.2.- No se cuenta con un programa de revisión (fugas, corrosión, debilitamiento) y mantenimiento de tuberías y accesorios.		21.0	3.0
2.5.- Ausencia de flujo de gas natural		1.5	3.0
2.7.- Las temperaturas y presiones de operación exceden las de diseño de tuberías y accesorios		2.1	0.1
2.8.- Sellos de válvulas y bridas en mal estado, falta de apriete o torque inadecuado.		9.0	3.0
2.10.- Falta de precaución en el desalojo de fluidos en el interior de tuberías para reparación		0.3	3.0
III		3.- ESTACIÓN DE REGULACIÓN DEL CLJ	16.5
	3.1.- Deterioro de líneas y accesorios de regulación (válvulas) de gas, por falta de recubrimiento u obsolescencia (corrosión).	3.0	3.0
	3.5.- Falta de supervisión o de instrumentación de detección de fugas (monitoreo de condiciones de operación) o instrumentación en mal estado.	3.0	3.0
	3.6.- Falta de mantenimiento (recubrimientos), de pruebas de hermeticidad periódicas, radiografiado, mantenimiento menor (pintura anticorrosiva en instalaciones superficiales en línea (ducto) de conducción de gas.	3.0	3.0

	EVENTO	MAGNITUD	PROBABILIDAD
	3.7.- Falta de supervisión de buen estado de abrazaderas y soportes de líneas de conducción.	3.0	3.0
IV	4.- ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN DE USUARIO	55.5	18.4
	4.1.- Deterioro de líneas y accesorios de regulación (válvulas) de gas, por falta de recubrimiento u obsolescencia (corrosión).	21.0	3.0
	4.3.- Falta de mantenimiento (recubrimientos), de pruebas de hermeticidad periódicas, radiografiado, mantenimiento menor (pintura anticorrosiva en instalaciones superficiales en línea (ducto) de conducción de gas.	3.0	3.0
	4.6.- Instalación eléctrica en caseta que no es a prueba de explosiones.	3.0	3.0
	4.5.- Falta de válvulas de seguridad para alivio de sobrepresión en líneas de la caseta	0.7	0.1
	4.10.- Falta de línea de venteo de la válvula de seguridad de la caseta	0.7	0.1

Resultado de la aplicación de dicha metodología se obtuvo una matriz con 11 columnas, correspondientes a la palabra guía/parámetro de ingeniería y proceso, desviación probable, causas posibles de desviación, consecuencia de la desviación, alcance de las consecuencias, valores de probabilidad, exposición, consecuencias y magnitud y finalmente la acción recomendada.

Tabla 35 Ejemplo Hoja de Trabajo HazOp

EMPRESA	Plantas Generadoras de Energía Eléctrica	Ubicación:	Lagos de Moreno, Jalisco	Realizo:	Andaraca Fernández Ricardo	Fecha:	Noviembre/2018		
PALABRA GUÍA / PARÁMETRO DE ING. Y PROCESO	CAUSAS POSIBLES DE DESVIACION	DESVIACION PROBABLE	CONSECUENCIAS DE LA DESVIACION	ALCANCE DE LAS CONSECUENCIAS	PROBABILIDAD	EXPOSICION	CONSECUENCIAS	MAGNITUD	ACCION RECOMENDADA
NODO 1. ESTACIÓN DE REGULACIÓN Y MEDICIÓN PRINCIPAL, Y TRAMO DE TUBERÍA DE INTERCONEXIÓN									
MAS FLUJO	1.1.- Deterioro de líneas y accesorios de regulación (válvulas) de gas, por falta de recubrimiento u obsolescencia (corrosión).	- Fugas de combustible.	- Probabilidad de explosión. - Probabilidad de efecto domino en caso de explosión.	Daños a personal, daños a instalación. Daño al ambiente.	3.0	1.0	7.0	21.0	Aunque estas consideraciones recaen directamente sobre la responsabilidad del fabricante es recomendable trabajar en conjunto con el personal correspondiente y así llegar a un trabajo en conjunto que mejore la seguridad y asegure su cumplimiento de forma adecuada De ser necesario se tendrá que buscar la información necesaria en los manuales de procedimiento, especificaciones y demás datos requeridos.
	1.2.- Fuga de gas en línea de llegada a caseta.	- Riesgo de explosividad al mantenerse constante la fuga.	- Probabilidad de explosión. - Poca Probabilidad de efecto domino.	Daños a personal, daños a caseta, muy probable al exterior. Daño al ambiente.	3.0	0.1	7.0	2.1	
	1.3.- Fuga de gas en línea de distribución después de la caseta.	- Riesgo de explosividad al mantenerse constante la fuga.	- Probabilidad de explosión. - Probabilidad de efecto domino.	Daños a personal, daños a instalación, probable daño al exterior. Daño al ambiente.	3.0	1.0	7.0	21.0	
NO FLUJO	1.4. Válvula de corte en la caseta de medición y regulación del punto de interconexión cerrada por error humano.	- No existe flujo del combustible (gas natural).	- Falta de combustible para la planta - Caída de Presión	Paro de los equipos y muy probablemente, paro de la planta en general.	3.0	1.0	0.5	1.5	
	1.5. Válvula de corte en la caseta de medición y regulación del punto de interconexión cerrada por mantenimiento preventivo o correctivo.	- No existe flujo del combustible (gas natural).	- Falta de combustible para la planta - Caída de Presión	Paro de los equipos y muy probablemente, paro de la planta en general.	3.0	1.0	0.5	1.5	
MAS SOBREPRESION	1.6. La válvula de seguridad bloqueada por impurezas del gas.	-No se da el flujo eficiente del combustible (gas natural).	- Pobre alimentación o falta de la alimentación de combustible a la planta - Mayor Caída de Presión (Debido a más sobrepresión)	Paro de los equipos y muy probablemente, paro de la planta en general.	3.0	1.0	0.5	1.5	
NO SUPERVISION	1.7.- Falta de supervisión o de instrumentación de detección de fugas (monitoreo de condiciones de operación) o instrumentación en mal estado.	- No habrá una detección de fugas, por lo tanto no se combatirá a tiempo.	- Probabilidad de explosión. - Probabilidad de efecto domino. Todo debido a la falta de supervisión.	Daño a la atmosfera. Daño a personal, a instalación.	3.0	1.0	1.0	3.0	
NO MANTENIMIENTO	1.8.- Falta de mantenimiento (recubrimientos), de pruebas de hermeticidad periódicas, radiografiado, mantenimiento menor (pintura anticorrosiva en instalaciones superficiales en línea (ducto) de conducción de gas.	- Corrosión de tuberías.	- Probabilidad de fugas a futuro, seguida de probable explosión debido a las mismas. Todo debido a la falta de mantenimiento.	Daño a la atmosfera Daño a instalación (material ocupado), y probable daño a personal.	3.0	1.0	1.0	3.0	
NO SUPERVISION	1.9.- Falta de supervisión de buen estado de abrazaderas y soportes de líneas de conducción.	- No se tratan a tiempo problemas presentados (fractura de material), debido a que no hay detección de los mismos.	- Probabilidad de fractura de material, y posible explosión en un futuro. Todo debido a la falta de supervisión.	Daño a la atmosfera, muy probable daño a personal e instalación del servicio.	3.0	1.0	1.0	3.0	
NO SISTEMAS DE SEGURIDAD	1.10.- Falta de sistemas de corte de flujo rapido en el sitio no se tienen válvulas operadas a control remoto	- Falta de control de problemas a tiempo (generalmente fugas).	- Probabilidad de explosión, si se da esto.	Daño a la atmosfera Daño a personal, e instalación.	3.0	1.0	1.0	3.0	
	1.11.- Instalación eléctrica en caseta que no es a prueba de explosiones.	- Riesgo de explosividad, debido a problema con instalación eléctrica.	- Probabilidad de explosión - Probabilidad de efecto domino.	Daño a personal e instalación, al exterior de la planta.	0.1	1.0	1.0	0.1	
SUBTOTAL 1.1					30.1	10.1	27.5	60.7	

Posteriormente, de la matriz anterior se identificaron **los casos o posibles fallos (eventos) más críticos** en cada uno de los tres nodos propuestos en el sistema y se jerarquizarán con la matriz de jerarquización más adelante mostrada.

Como resultado de lo anterior se obtuvo la siguiente tabla de resumen de resultados de la aplicación de la metodología HAZOP, donde se muestran los tres nodos de importancia (y con los cuales se trabajará todo el estudio) y su magnitud y probabilidad, tanto por nodo como por evento principal.

Tabla 36 Resultados finales HazOp

Número/Nombre de nodo	Total por nodo	
	Magnitud	Probabilidad
1. Punto de interconexión con el gasoducto de 16" de Gasoductos del Bajío	54.61	21.7
Evento por nodo 1	Por evento	
	Magnitud	Probabilidad
1.1.- No se tiene un procedimiento ordenado para realizar la interconexión.	0.7	0.1
1.2.- No se cuenta con un programa de revisión (fugas, corrosión, debilitamiento).	21.0	3.0
1.3.- No se cuenta con válvulas de sacrificio o válvulas de corte para aislar el sistema.	0.7	0.1
1.4.- El montaje de líneas y accesorios es deficiente. La válvula posterior a interconexión se encuentra sin soporte.	0.7	0.1
1.5.- Las temperaturas y presiones de operación exceden las de diseño de tuberías y accesorios.	0.7	0.1
1.6.- Falta de señalamiento e identificación del sistema	0.1	0.1
Número/Nombre de nodo	Total por nodo	
	Magnitud	Probabilidad
2. Gasoducto de acero 8" de diámetro, incluye ERMP previo a regulación	52.85	21.7
Evento por nodo 2	Por evento	
	Magnitud	Probabilidad
2.1.- No se tiene un procedimiento ordenado de mantenimiento de tuberías y accesorios.	21.0	3.0
2.2.- No se cuenta con un programa de revisión (fugas, corrosión, debilitamiento) y mantenimiento de tuberías y accesorios.	21.0	3.0
2.3.- No se cuenta con válvulas de corte de flujo a intervalos y en sitios estratégicos, para aislar para reparación de líneas.	0.7	0.1
2.4.- El montaje de líneas y accesorios es deficiente. Las anclas no sostienen bien y las juntas de expansión no operan libremente. Alineación y distribución de carga defectuosa.	0.1	0.1
2.5.- Las temperaturas y presiones de operación exceden las de diseño de tuberías y accesorios.	0.7	0.1
2.6.- Sellos de válvulas y bridas en mal estado, falta de apriete o torque inadecuado.	0.7	0.1
Número/Nombre de nodo	Total por nodo	
	Magnitud	Probabilidad
3. Estación de Regulación y Medición Principal, posterior a la regulación	44.7	24.7

Evento por nodo 3	Por evento	
	Magnitud	Magnitud
3.1. Válvula de corte en la caseta de medición y regulación previo a dicha caseta, cerrada por error humano.	1.5	3.0
3.2. Válvula de corte en la caseta de medición y regulación posterior a dicha caseta, cerrada por mantenimiento preventivo o correctivo.	4.5	3.0
3.3. La válvula de seguridad bloqueada por impurezas del gas.	1.5	3.0
3.4.- Falta de sistemas de corte de flujo rápido en el sitio no se tienen válvulas operadas a control remoto	0.1	0.1

También se puede observar que después de identificar y jerarquizar los nodos con esta metodología, los posibles fallos que más riesgos atraen son los siguientes:

- Fuga de gas natural
- Fracturas de material
- Ausencia de flujo
- No mantenimiento
- No supervisión ni procedimientos
- Condiciones de operación excedidas
- No existe capacitación
- No existen sistemas ni atención a emergencias

Estos fallos se meterán a la matriz de jerarquización, con el fin de verificar por nodo cual es la consecuencia de cada uno y poder plantear escenarios de riesgo a modelar y evaluar.

También se pueden observar con esta metodología el nivel de Riesgo de Cada Nodo: Tolerable, No Tolerable y/o ALARP (Tan Bajo como sea Razonablemente Posible).

1.5.3. Matriz de Jerarquización de Riesgos

Mediante los puntos de riesgos establecidos en el párrafo anterior, se condensó la información de los riesgos en una matriz de jerarquización, la cual permite identificar de manera más visual la clasificación de cada riesgo.

La matriz se clasificará de acuerdo a los siguientes colores (los colores estarán determinados por los valores totales obtenidos):

	POR FALLO	POR NODO
Rojo	Evento que requiere corrección	Nodo más crítico y necesita acción preventiva
Amarillo	Evento que requiere atención	Nodo que requiere procedimiento preventivo
Verde	Evento aceptable, y requiere procedimiento de prevención	Nodo con riesgo aceptable

Justificación de la metodología seleccionada

El número de metodologías para identificar y jerarquizar los riesgos ambientales se ha ido diversificando conforme la tecnología, generación y accesibilidad de información han ido mejorando, es por ello que el primer aspecto a resolver es la elección del enfoque y método adecuados con base a las características particulares del estudio y a la información base disponible.

En términos generales, los métodos existentes varían en nivel de complejidad y requieren de distintos tipos de datos, experiencia y herramientas tecnológicas; por lo tanto, producen diferentes niveles de precisión y certidumbre, sin embargo, en general dependen en buena parte de la experiencia del grupo de expertos quien realiza el estudio.

Con base en lo anterior, se consideró como mejor opción el uso de matrices numéricas de interacción como metodología para la jerarquización de los riesgos debido a que es un procedimiento lógico, objetivo y presenta la información de manera clara y concisa lo que permite jerarquizar los riesgos de acuerdo con las particularidades del estudio

Mediante el uso de esta metodología, es posible apreciar la afectación de cada riesgo en su medio ambiente. También, al asignárseles un valor numérico en función de la magnitud del riesgo, se identifica y jerarquiza fácilmente aquellas acciones más relevantes.

Tabla 37 Jerarquización de riesgos en el Nodo 1 (Punto de Interconexión: válvula troncal y niple).

Frecuencia	Severidad			
	Catastrófico	Crítico	Marginal	Insignificante
Frecuente				
Probable				
Ocasional				
Remoto		Fuga de Gas Natural Fractura de Material No existen sistemas ni atención a emergencias	No existe capacitación No Supervisión ni procedimientos No Mantenimiento	Ausencia de Gas Natural
Improbable	Condiciones de Operación Excedidas			

Tabla 38 Jerarquización de riesgos en el Nodo 2 (Tubería de suministro de 8" AC, abarca entrada a ERMP previo a regulación).

Frecuencia	Severidad			
	Catastrófico	Crítico	Marginal	Insignificante
Frecuente				
Probable				
Ocasional			No supervisión ni procedimientos No Mantenimiento	
Remoto		Fuga de Gas Natural Fractura de Material No existen sistemas ni atención a emergencias	No existe capacitación	Ausencia de Gas Natural
Improbable	Condiciones de Operación Excedidas			

Tabla 29 Jerarquización de riesgos en el Nodo 3 (Estación de Regulación y Medición Principal, posterior a regulación).

Frecuencia	Severidad			
	Catastrófico	Crítico	Marginal	Insignificante
Frecuente				
Probable				
Ocasional			No supervisión ni procedimientos No mantenimiento No existe capacitación	
Remoto		Fuga de Gas Natural Fractura de material	No existen sistemas de atención a emergencias	Ausencia de Gas Natural
Improbable			Condiciones de Operación Excedidas	

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados anteriores.

Tabla 40 Jerarquización de riesgos totales por nodo

Nodo	Nivel de Riesgo			
	No Tolerable	ALARP	Tolerable	Tolerable
1	0	0	7	1
2	0	0	7	1
3	0	0	7	1

Como se puede observar los riesgos caen en regiones de frecuencia y severidad similares en los 2 primeros nodos, esto debido a que manejan las mismas condiciones de presión, y otros factores que influyen en esto, son las salvaguardas, filosofía de seguridad y operacional, así como los programas de mantenimiento que se tienen, estos hacen que la frecuencia disminuya de forma drástica, a pesar de tener una severidad crítica en estos puntos. Por otra parte el nodo 3, es el que presenta un menor riesgo esto debido a que no abarca un tramo considerable de tubería y accesorios, y la presión en este punto es manejable para los operadores.

En conclusión, el nodo 2 es el que presenta mayores riesgos, esto debido a la severidad aunada a las condiciones donde se maneja la más alta presión. El nodo 1 presenta un comportamiento similar al nodo 2, sin embargo, su severidad y frecuencia es menor debido a que es un tramo pequeño en cuestión de accesorios, equipos y tubería, y este punto estará monitoreado por dos actores (PROASA y CENAGAS), por lo tanto se verifica en base a dos procedimientos estrictos. En el nodo 3 localizamos el menor riesgo incluso mayor número de riesgos tolerables con revisión ya que la presión es muy manejable para el operador como ya se hacía mención.

Un punto a resaltar es que los riesgos asociados a Fuga de Gas Natural, Fracturas de material, y condiciones de operación excedidas, generan la severidad más crítica en los tres nodos, y esto debido a que son riesgos que podrían provocar nubes de gas y dardos de fuego sin importar la presión en la que se encuentre, lo cual podría provocar daños al sistema y alguna herida a personal, sin embargo, lo siguiente apoya a disminuir la frecuencia como ya se comentó:

Sobre las condiciones de operación excedidas a pesar de tener una severidad crítica, se tiene el control desde el diseño del estudio (validado internamente y con unidades de verificación autorizadas), por lo que no se contempla presentar una modelación con esta causa debido a su improbabilidad de que suceda un riesgo por esta situación.

La fractura o daño al sistema, disminuye su frecuencia gracias a los programas que la empresa a desarrollado, así como la supervisión que se tendrá.

Por otra parte todas las fallas anteriores que se ingresaron a la matriz, si ocurrieran como consecuencia se tendría una fractura de material la cual a su vez daría pie a una fuga de gas natural.

Por lo que, la fractura o este fallo se puede dar en la tubería o algún accesorio del punto de interconexión, red de suministro o ERMP, y debido a ***esto los escenarios que se construirán son modelar fugas de combustible por orificios generados en accesorios o en algún tramo de tubería. Como adicional se propondrá una ruptura total en el nodo 2 ya que es el escenario más crítico y con la mayor longitud de empaque de gas natural.***

Con todo lo anterior, es decir, considerando los resultados de la metodología HAZOP y la Matriz de jerarquización, se puede concluir que; *la red de suministro (posterior al punto de interconexión), el proceso tiene una mayor magnitud de riesgo debido a la infraestructura que lo conforma, así como a sus condiciones de operación y las personas involucradas en su supervisión. Así mismo, se determinó que la ERMP posterior a la regulación es donde se localiza el menor nivel de riesgo, ya que las condiciones operativas son menos drásticas, aunque los riesgos son más frecuentes de presentarse.*

Así, los escenarios de riesgo a simular se han propuesto realizar en los puntos clave a lo largo del sistema (cambios de presión, equipos e infraestructura), realizando énfasis en el área de mayor riesgo conforme con los resultados de la metodología HAZOP y la Matriz de jerarquización, y proponiendo fugas de gas natural por fracturas de material en tuberías o accesorios, quedando de la siguiente manera:

Conclusión de la Jerarquización

Al finalizar ambas metodologías para la identificación y jerarquización de riesgos, refiriéndonos al HazOp y jerarquización de riesgos, hablando de la matriz, se puede concluir, que posterior a la interconexión en la Estación de Regulación y Medición Principal, el proceso tiene una mayor magnitud de riesgo, recayendo principalmente en el gasoducto, esto debido a la infraestructura que lo conforma, así como a sus condiciones de operación.

Se determinó también que posterior a la Estación de Regulación y Medición del Usuario es donde se localiza el menor nivel de riesgo, ya que las condiciones operativas son menos drásticas;

Los escenarios de Riesgo a simular se proponen que sean en los puntos clave a lo largo del sistema, realizando énfasis en el área de mayor riesgo como se observó en el HazOp y la matriz de riesgo, quedando de la siguiente manera:

- Estación de Regulación y Medición Principal (Previo y Posterior a la Regulación) (Escenario que se puede localizar en el NODO 1)
- Gasoducto de Acero de 8" (Ruptura total y 20% del diámetro total) (Escenario que se puede localizar en el NODO 2A y 2B)
- Estación de Regulación y Medición del Usuario (Posterior a la Regulación) (Escenario que se puede localizar en el NODO 3)

I.5.4. Radios Potenciales de Afectación

La emisión de contaminantes a la atmósfera y el manejo de sustancias peligrosas debido a las actividades industriales, son actualmente un aspecto de gran atención ambiental, salud y seguridad. Por lo que la siguiente etapa del análisis de riesgo ambiental es determinar cuáles serían las consecuencias de los posibles eventos no deseados; para ello se utilizó un programa electrónico de simulación de riesgos potenciales a manera de poder cuantificar sus efectos.

El aspecto de manejo, transporte o almacenamiento de sustancias peligrosas es de importancia debido a los efectos que se pueden presentar en caso de accidente; de particular interés es el referente a la liberación en la atmósfera de un gas o vapor tóxicos provenientes de una fuga. Al respecto, el factor crítico a considerar es la posible exposición de la gente a concentraciones que puedan afectar severamente su salud o incluso provocar su muerte.

Una situación parecida a la anterior es la relativa a la liberación masiva e instantánea de un gas tóxico el cual forma una nube o "puff" que es transportada por el viento. Aquí es también importante poder prevenir la exposición de la población a niveles peligrosos o letales.

En este estudio, el manejo de gas natural implica riesgos de fuga y deflagración entre otros. En este caso, es importante estimar los radios de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo, considerando el personal expuesto y las características de las instalaciones y procesos existentes, pese a que para que esto último ocurriera, se requeriría una emisión continua en un espacio confinado. En general, los riesgos potenciales tendrán una probabilidad de ocurrencia dependiendo de los siguientes parámetros:

- Presión
- Corrosión
- Flujo
- Agentes externos
- Errores humanos

La falla se puede detectar por medio de la diferencia entre presiones y cantidades del suministro y el consumo de gas natural, o por un tercero que notifique la fuga. Es importante señalar que las simulaciones que se presentan fueron realizadas observando las condiciones climatológicas y meteorológicas extremas del sitio en estudio, así como las propiedades específicas de la sustancia estudiada. La importancia de esta observación radica en el hecho de que, en caso de presentarse alguno de los eventos definidos, no significa que se presentará el comportamiento que se determinó con la simulación, ya que las condiciones pueden ser completamente diferentes y pueden generar situaciones de menor riesgo.

Juegan un papel importante entre los criterios a observar en la evaluación de riesgo ambiental, el establecimiento de parámetros de medición mediante los cuales se fijan valores tope que permitan salvaguardar la salud de quienes se encuentran en los alrededores de las instalaciones de alto riesgo, así como proteger sus bienes y el entorno natural.

En lo relativo a afectación por riesgo de actividades en las cuales se utilizan sustancias con características explosivas, tal es el caso del estudio en concreto para la determinación de la **zona de alto riesgo**, se establece como parámetro de afectación las ondas de sobrepresión de 0.070 Kg/cm² (1 PSIG), tomando como zona de afectación, el área de un círculo con un radio que considera la distancia desde el punto donde se puede formar la nube explosiva y cuyo extremo representa la distancia a la cual se tiene una onda con valor equivalente a dicha sobrepresión.

Para el establecimiento de la **zona de amortiguamiento**, se establece como parámetro de afectación 0.035 Kg/cm^2 (0.5 PSIG), tomando como zona de afectación, el área de un círculo con un radio que considera la distancia desde donde se encuentra el punto de formación de la nube explosiva y cuyo extremo representa la distancia a la cual se tiene la citada onda de sobrepresión.

Para definir y justificar las zonas de seguridad en torno al estudio, se aplicaron los criterios establecidos por la propia Guía para la presentación del Estudio de Riesgo Ambiental, Modalidad, Ductos Terrestres, expedida por la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, los cuales se muestran en la siguiente Tabla.

Criterios de zonas de seguridad

	ALTO RIESGO	AMORTIGUAMIENTO
Explosividad (sobrepresión)	0.070 Kg/cm ² (1 psig)	0.035 Kg/cm ² (0.5 psig)

IV.5.4.1 Simulación de Eventos de Riesgo

Es relevante señalar el hecho de que los eventos modelados a continuación, se refieren a los posibles escenarios que mayores consecuencias pueden tener en la operación del ducto de Gas natural.

La simulación o modelación de estos eventos se ha realizado con los modelos matemáticos del paquete ARCHIE (**Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation**), el cual está integrado por tres modelos:

- Evaluación del riesgo de chorros de flama o dardos de fuego.
- Evaluación del riesgo de fuego por nube o pluma de vapor.
- Evaluación del riesgo de explosión de nubes de vapor (no confinadas).

Los tres modelos de dispersión son del tipo Gaussiano y permiten obtener estimaciones de concentraciones en el aire, considerando condiciones de emisión y estabilidad atmosférica particulares. Este paquete de simulación debe considerarse primariamente como herramienta de evaluación preliminar para el análisis detallado de posibles situaciones de dispersión de un contaminante a través del cual se pueden simular o representar condiciones específicas de un emisor y su entorno.

Consideraciones primarias

Es muy importante mencionar los siguientes aspectos considerados en la determinación del evento de riesgo:

- El modelo que se utilizará para simular este escenario es de la una nube de explosiva de vapor sin confinar, mencionado anteriormente. El efecto de explosividad que se puede producir por la ignición de una nube de vapor inflamable sin confinar es una de las **menos** frecuentes pero con consecuencias más severas.
- Es importante mencionar que, en la mayoría de los programas de simulación, es común expresar la energía liberada de la sustancia explosiva relacionada a una carga equivalente de TNT, así como también se emplean los datos disponibles de sobrepresión producidas en explosiones por TNT.

NODO NO. 1: FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL POR UN ORIFICIO EQUIVALENTE A 1/2" DE DIAMETRO, EN UNA JUNTA O BRIDA EN MAL ESTADO PREVIO A LA REGULACIÓN DE LA ESTACION DE MEDICIÓN Y REGULACION PRINCIPAL (**ERMP**) UBICADA EN LA INTERCONEXION CON EL GASODUCTO TRONCAL PROPIEDAD GASODUCTOS DEL BAJÍO, DURANTE UN TIEMPO PROMEDIO DE **10 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE SEGURIDAD, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

NODO NO. 2A: FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL POR UN ORIFICIO EQUIVALENTE AL 20% DEL DIÁMETRO NOMINAL DEL DUCTO (1.5"), EN UN TRAMO DE TUBO DEBIDO A UNA RUPTURA DEL MISMO, ESTO EN UN PUNTO CUALQUIERA DEL TRAYECTO DESDE LA ERMP DEL PUNTO DE INTERCONEXIÓN Y HASTA LA ERM DEL USUARIO, DURANTE UN TIEMPO PROMEDIO DE **15 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE OPERACIÓN DE ACCEGAS, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

NODO NO. 2B: FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL DEBIDO A LA RUPTURA TOTAL DEL DUCTO (8"), ESTO EN UN PUNTO CUALQUIERA DEL TRAYECTO DESDE LA ERMP DEL PUNTO DE INTERCONEXIÓN Y HASTA LA ERM DEL USUARIO, DURANTE UN TIEMPO PROMEDIO DE **5 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE OPERACIÓN, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

NODO NO. 3: FUGA ACCIDENTAL DE GAS NATURAL POR UN ORIFICIO EQUIVALENTE A 1/2" DE DIAMETRO, EN UNA JUNTA O BRIDA EN MAL ESTADO POSTERIOR A LA REGULACIÓN DE LA ESTACION DE MEDICIÓN Y REGULACION DEL USUARIO, UBICADA EN LOS PREDIOS DEL USUARIO, DURANTE UN TIEMPO PROMEDIO DE **10 MINUTOS**, QUE ES EL TIEMPO REQUERIDO ANTES DE QUE SE ACTIVE EL PROGRAMA DE ATENCION DE EMERGENCIAS Y QUE EL PERSONAL DE SEGURIDAD DEL USUARIO, CIERRE LAS VALVULAS DE SECCIONAMIENTO QUE AISLEN EL SISTEMA.

Los modelos utilizados del menú de opciones del programa de simulación fueron los siguientes:

- ✓ G) Evaluación del riesgo de chorros de flama o dardos de fuego.
- ✓ H) Evaluación del riesgo de fuego por nube o pluma de vapor.
- ✓ I) Evaluación del riesgo de explosión de nubes de vapor (no confinadas).

El análisis de riesgo se efectuó considerando los siguientes aspectos: la naturaleza del proceso, las características fisicoquímicas del **gas natural** a utilizar; las características de manejo y las condiciones de operación. Para evaluar la magnitud de las consecuencias o daños que ocasionarían accidentes o eventos relacionados con la liberación o emisión de **gas natural**, se realizó utilizando el programa de simulación conocido como:

Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation (ARCHIE)

Este programa fue desarrollado por el Gobierno Federal de los Estados Unidos a través de la Administración de Programas Especiales e Investigación de la Oficina de Transporte de Materiales Peligrosos de su Departamento de Transportación. Considerando los criterios del Instituto Americano de Ingenieros Químicos de U.S.A., AICHE y del Banco Mundial. Este simulador de riesgo es aceptado por la Ocupacional Safety and Health Administration (OSHA) y la United States Environmental Protection Agency (USEPA). Mediante este paquete se asignan parámetros que caracterizan al evento y se efectúa la modelación de consecuencias considerando dispersión atmosférica, inflamabilidad y toxicidad en su descarga hacia la atmósfera.

Es de suma importancia, se aplique y observe a detalle la descripción y actualización de las especificaciones técnicas de los equipos, materiales, instalaciones y demás dispositivos utilizados en el sistema de transporte a que serán sujetos en el diseño y la construcción del sistema, así como los métodos y procedimientos de seguridad que serán utilizados para la construcción, operación y el mantenimiento del mismo, incluyendo los procedimientos relativos a las pruebas que llevará a cabo para comprobar que el sistema cumple con las especificaciones técnicas, la periodicidad para la realización de dichas pruebas, así como la forma y los plazos para informar a la autoridad sobre los resultados obtenidos.

Cumpliendo siempre con las especificaciones técnicas establecidas por la NOM-007-ASEA-2016 y el Código ASME B31.3 Process Piping Code, API STD 1104 Standard for Welding Pipelines and Related Facilities, los cuales se utilizan internacionalmente en los sistemas de transporte de gas; de manera adicional, se cumplirá con las especificaciones propias de; Nom-009-SECRE-2002, Monitoreo, detección y clasificación de fugas de gas natural y gas L.P. en ductos.

Con lo anterior será suficiente y adecuado para garantizar la seguridad de su sistema de transporte. En caso de modificaciones al sistema de las especificaciones técnicas, los equipos, materiales, instalaciones y demás dispositivos utilizados en la Instalación en estudio y los métodos y procedimientos de seguridad en la medida que las necesidades de seguridad así lo ameriten.

El fundamento matemático y científico del citado simulador, así como las instrucciones para su utilización están contenidos en el Software correspondiente.

Adicionalmente se recurrió a la aplicación de ecuaciones utilizadas para estimación de los parámetros de riesgo, ecuaciones citadas en la publicación "Control de Riesgo de Accidentes Mayores" editado por la Organización Internacional del Trabajo OIT, basadas a su vez en datos del Banco Mundial, así mismo también citadas en diversos textos y artículos técnicos de análisis de riesgo.

Debido a que la hoja de datos de seguridad de Pemex del gas natural no reporta valores de TLV y de IDLH, no se corrió el modelo de evaluación del riesgo de dispersión de vapores tóxicos. Sin embargo, para la modelación de eventos de fuga, incendio y explosión, se consideró una fuga inicial de gas natural.

Para realizar la modelación de una fuga de **gas natural**, se consideraron las peores condiciones posibles, es decir el caso de una fuga que no es detectada y atendida a tiempo, fugándose el **gas natural**, con una **estabilidad atmosférica tipo F**, o sea muy estable, de noche, con nubosidad poco densa y sin capa de inversión durante por lo menos 15 minutos.

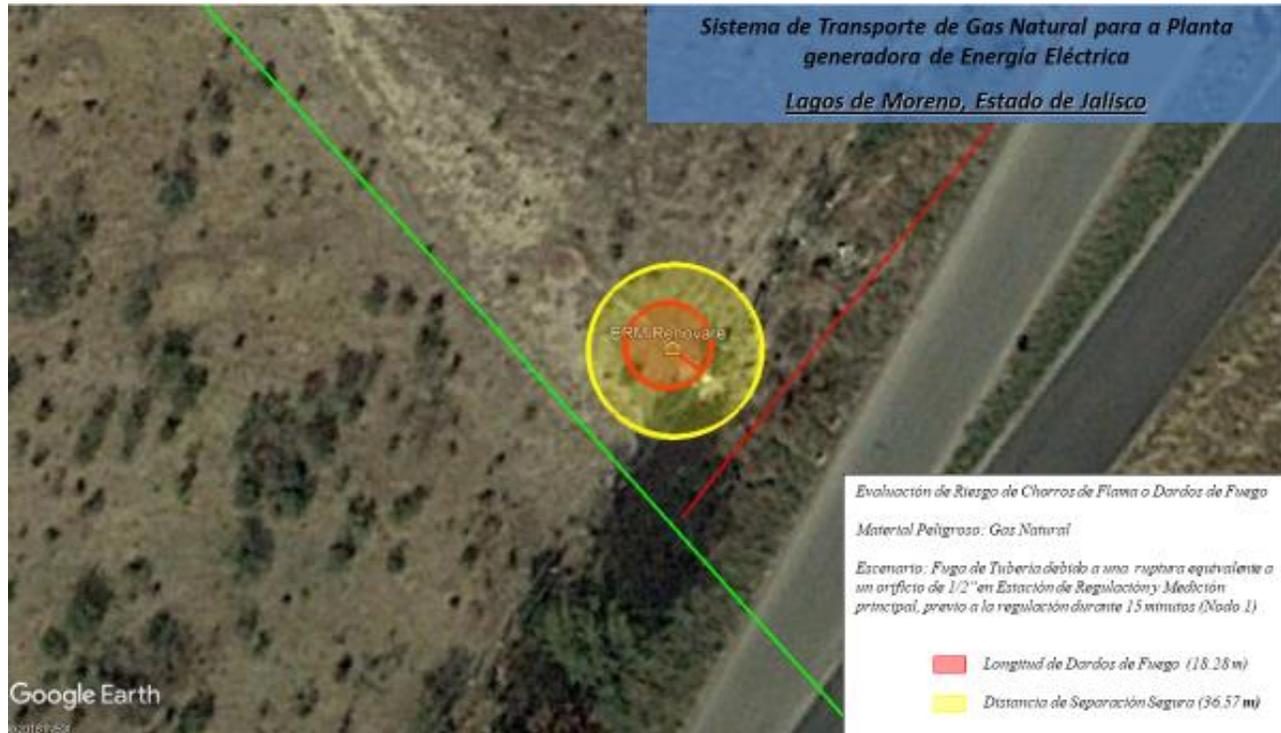
Tabla 41 Interacciones de Riesgo resultantes de su identificación, jerarquización y evaluación

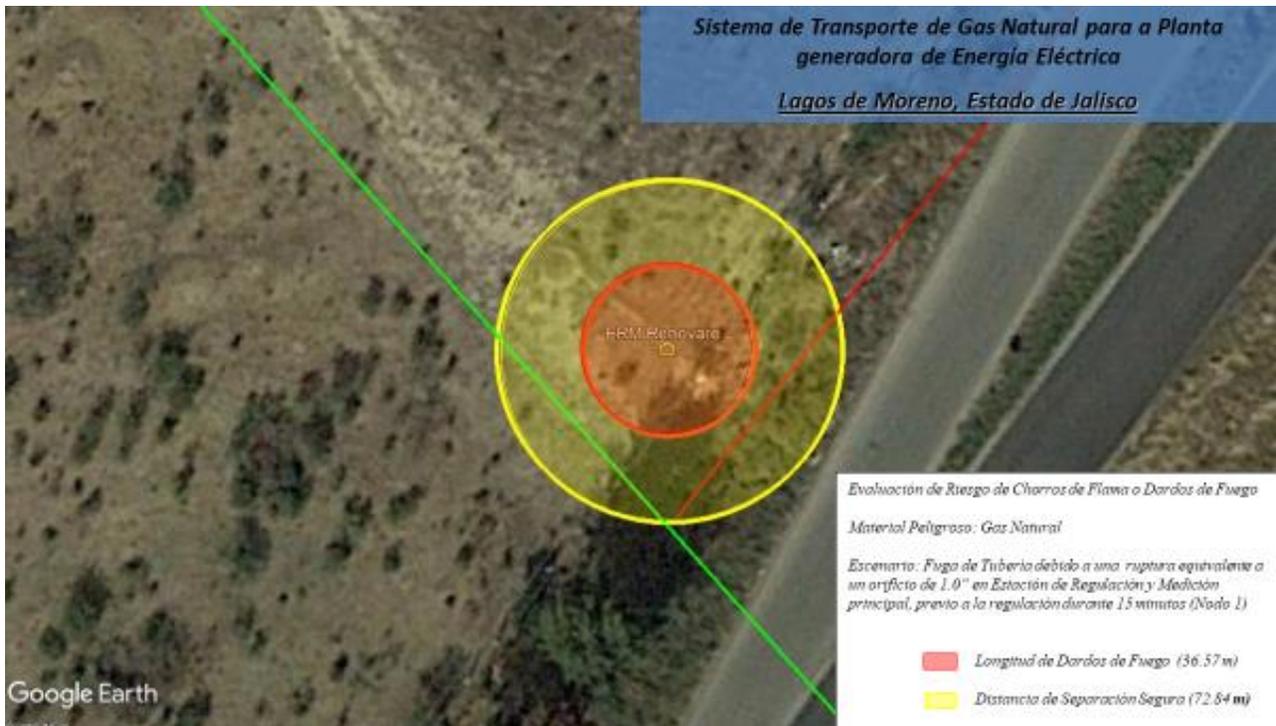
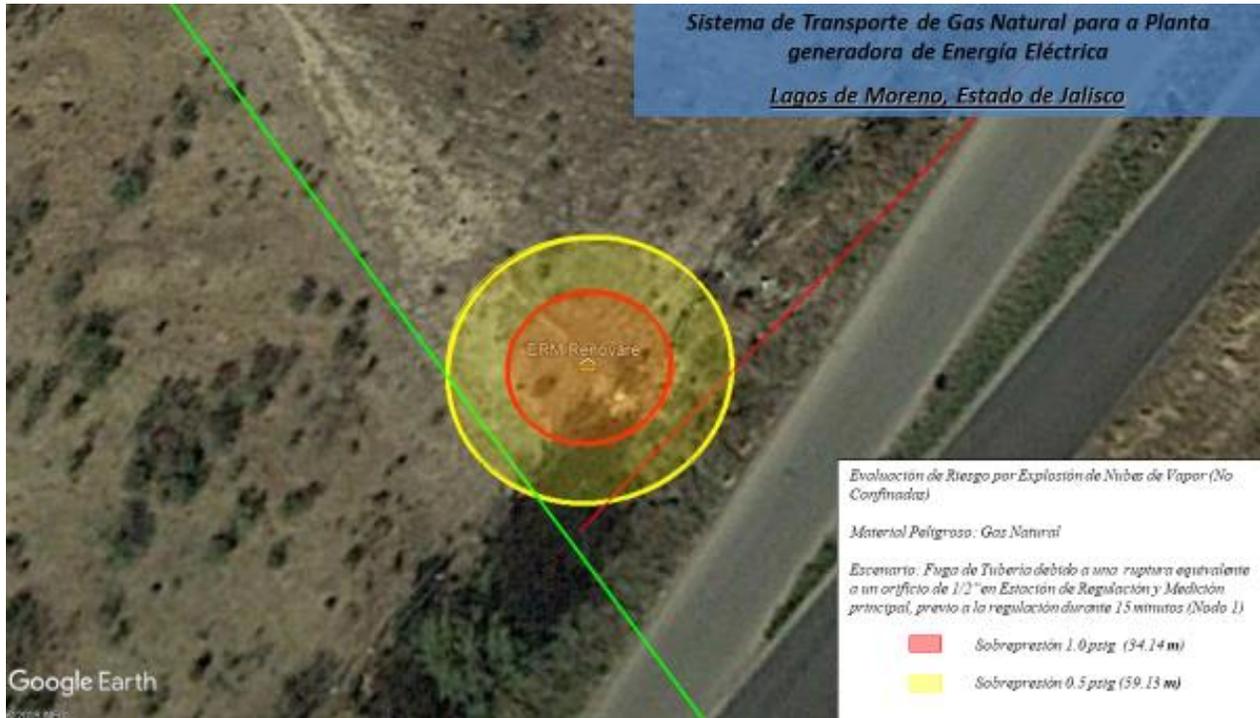
ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE ALTO RIESGO		
EVENTOS	CONSECUENCIAS	RECOMENDACIONES
I. Fractura de la línea de conducción de gas natural (tubería)	a) Fuga de gas en proporción al tamaño de la ruptura y la cantidad de gas existente	<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar las válvulas de seccionamiento que se encuentren corriente arriba y abajo de la fuga. - Tratar de controlar la fuga - Dar la voz de alarma. - Informar via telefónica al área de seguridad y medio ambiente de la planta del usuario.
II. Falla de válvulas conexiones y juntas del sistema de regulación y medición	a) Fuga de gas en proporción a la magnitud del problema b) Una vez que se ha liberado la presión, la válvula no cierra por falta de calibración c) La válvula no abre provocando un incremento de la presión interna, con la posible afectación de alguna unión o junta, con su consecuente fuga de gas descontrolada.	<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar válvulas de seccionamiento que se encuentren corriente arriba y abajo de la fuga. - Controlar la fuga. - Dar la voz de alarma. - Informar via telefónica al área de seguridad y medio ambiente. - Hacer las reparaciones inherentes al problema. - Mantener todo el sistema de regulación y medición protegidos de la intemperie. - Realizar la calibración de válvulas según programa de mantenimiento y verificar su correcto funcionamiento.
III. Falla de sistema instrumentación medidores del sistema de regulación y de medición	a) Lecturas erróneas de los instrumentos. b) Posible sobre-presión del sistema total de tuberías. c) Una vez que se ha liberado la sobre-presión del sistema, la válvula no cierra por falta de calibración d) La válvula no abre provocando un incremento de la presión interna, con la posible afectación de alguna unión o junta, con la consecuente fuga de gas descontrolada.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisar rutinariamente la operación y estado de los instrumentos y hacer reemplazo oportuno de los que presenten fallas. - Cerrar válvulas de seccionamiento que se encuentren corriente arriba y debajo de la fuga. - Controlar la fuga. - Dar lá voz de alarma. - Informar via telefónica al área de seguridad y medio ambiente de CENAGAS - Hacer las reparaciones inherentes al problema. - Mantener todo el sistema de regulación y medición protegidos de la intemperie. - Realizar la calibración de válvulas según programa y verificar su funcionamiento correcto.
IV. Se presenta un siniestro fuera de las instalaciones del estudio pero interaccionan con el mismo (gasoducto principal de distribuidor)	a) El siniestro puede afectar las instalaciones de conducción de gas o sus equipos de regulación b) Suspensión del suministro de gas	<ul style="list-style-type: none"> - Control inmediato de cualquier conato de incendio. - Cerrar válvulas de seccionamiento que se encuentren corriente arriba y debajo del sistema total. - Mantener en buen estado y con carga los extintores de las casetas. - Aplicar plan de contingencias. - Suspender todas las operaciones que conlleven un riesgo de fuego y explosión, cerrar todas las válvulas de seccionamiento. - Dar lá voz de alarma. - Informar via telefónica al área de seguridad y medio ambiente de CENAGAS - Aplicar el plan de contingencias de acuerdo a la magnitud y características del siniestro como medida de protección interna y como apoyo al exterior.

Representación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento en un Plano a Escala Adecuada donde se Indiquen los Puntos de Interés que Pudieran Verse Afectados (asentamientos humanos, cuerpos de agua, vías de comunicación, caminos, etc.).

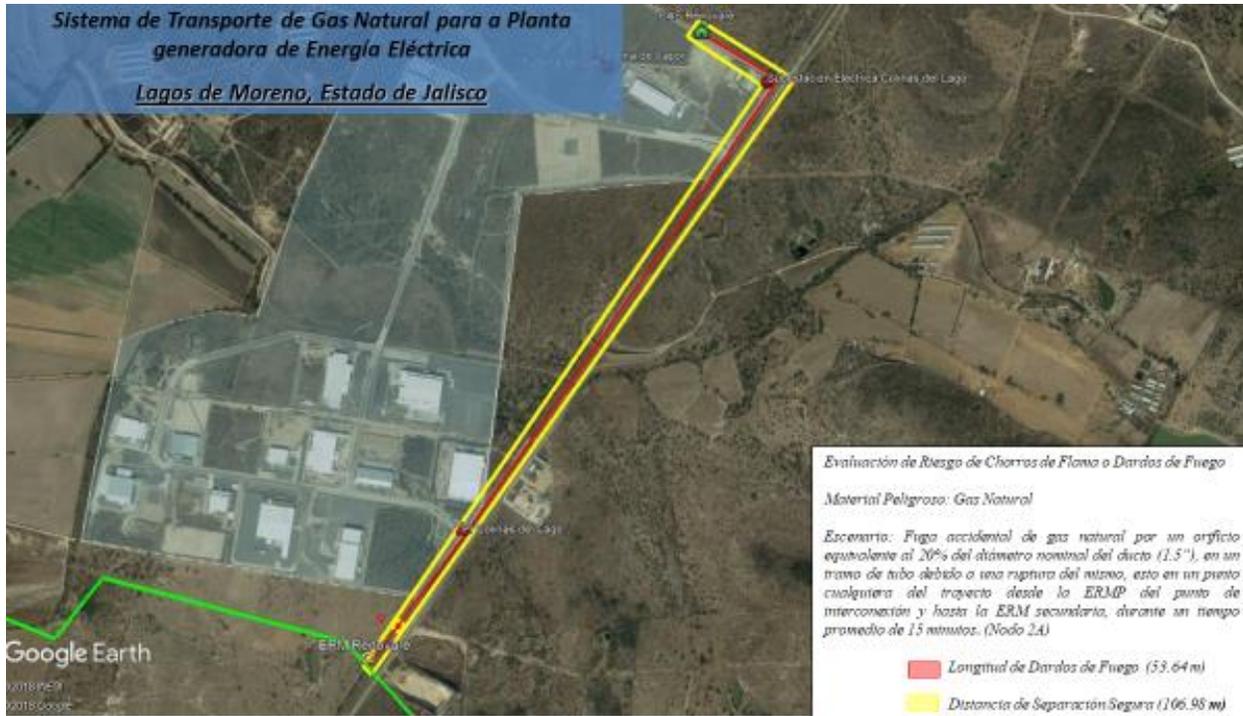
El resumen de los radios de afectación podrá verificarse en el plano de conjunto, así como en las fotografías aéreas mostradas a continuación

NODO 1





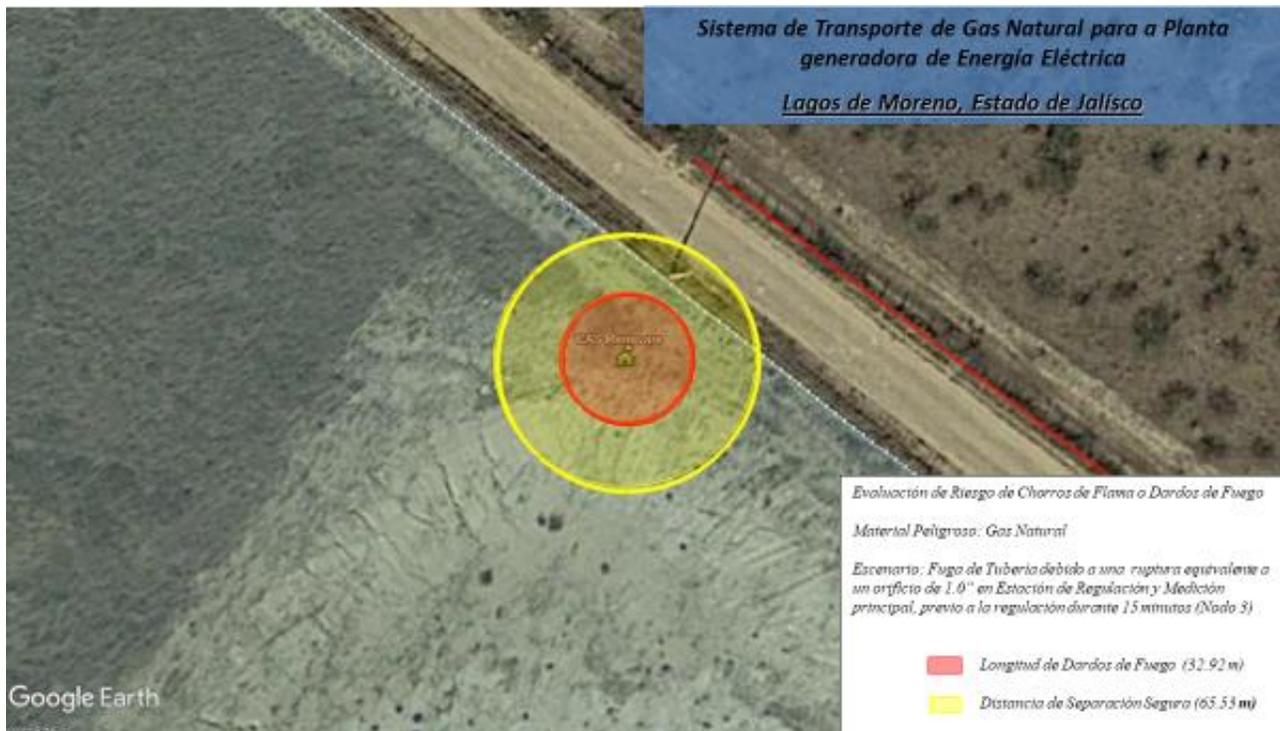
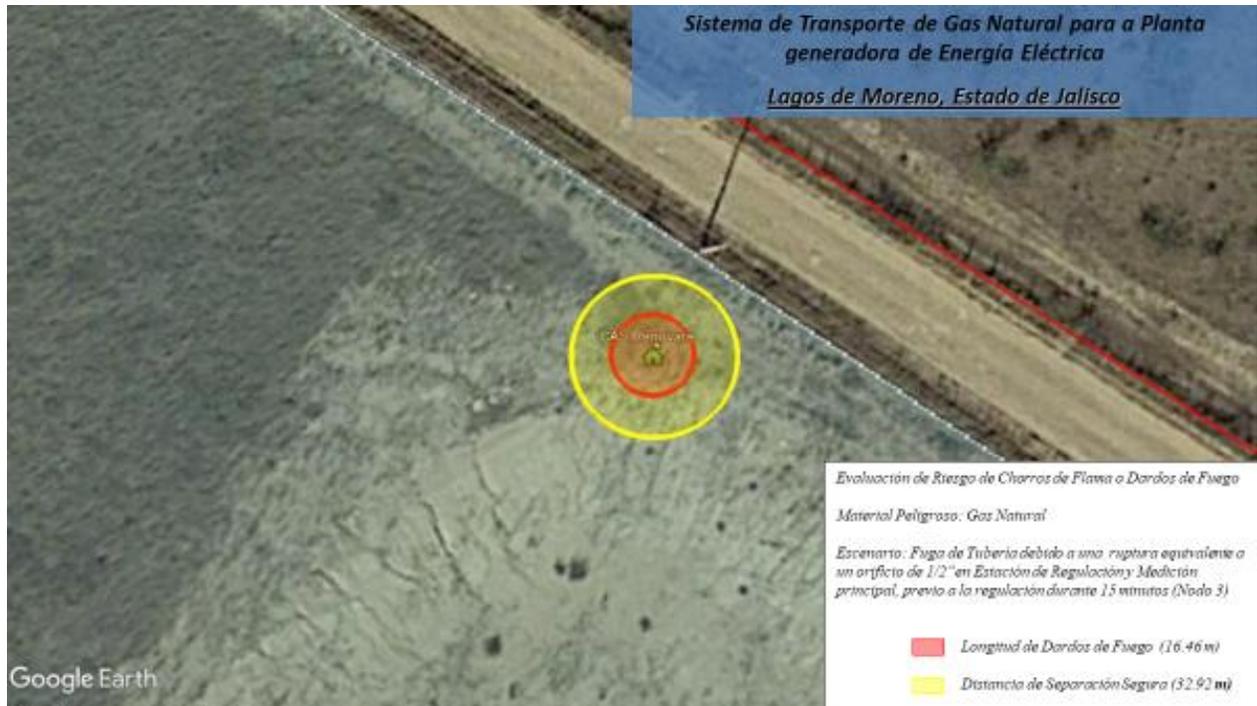
NODO 2A

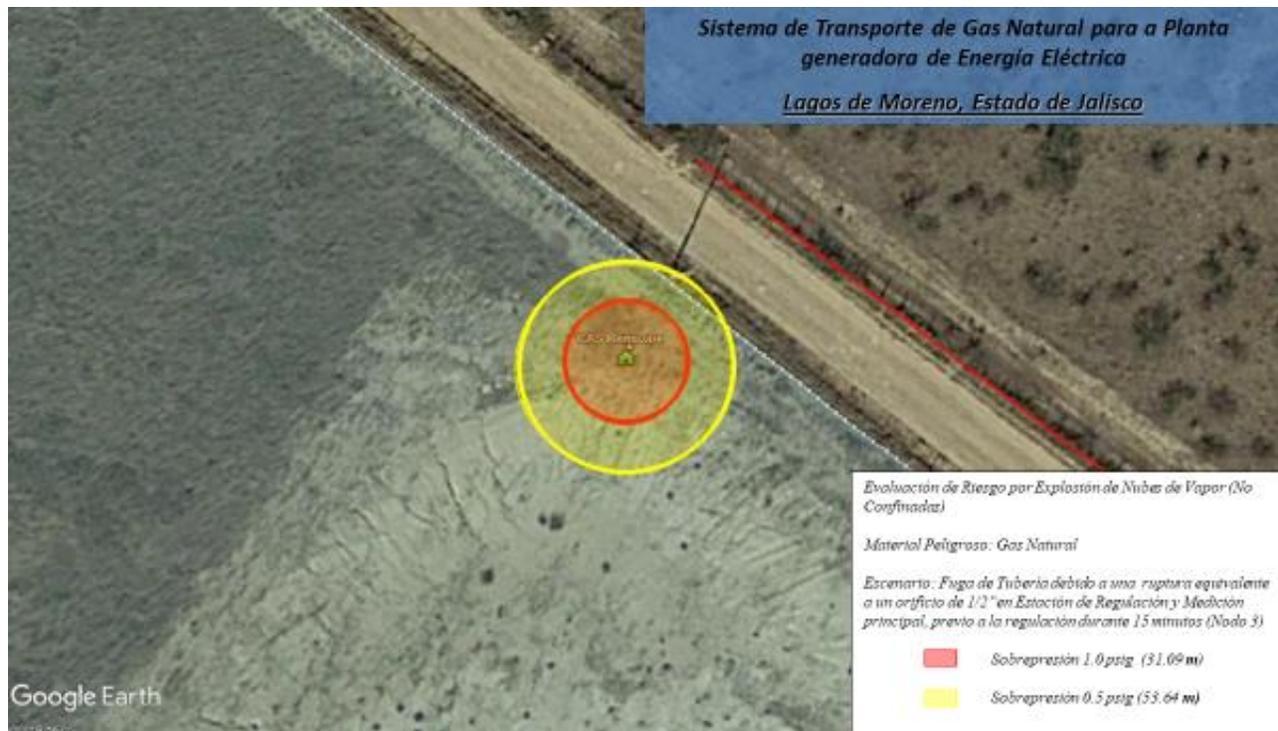


NODO 2B



NODO 3





CAPÍTULO III

Medidas de seguridad preventivas que se deben seguir para el estudio y su forma de mitigar, corregir y eliminar en cierta medida los escenarios de riesgo planteados por las metodologías antes descritas.

I. Señalamiento de las Medidas de Seguridad y Preventivas en Materia Ambiental

I.1 Recomendaciones Técnico-Operativas Resultantes de la Aplicación de la (s) Metodología (s) para la Identificación de Riesgos, Así como de la Evaluación de los Mismos.

I.1. Recomendaciones técnico-operativas

Sistemas de Seguridad

El manejo adecuado y seguro del **gas natural** es posible, siempre y cuando se conozcan sus riesgos y las diferentes formas en que éstos pueden presentarse; esto no quiere decir que no existe riesgo alguno; sí existen, por lo que siempre se tendrán al alcance de todas las personas involucradas en la operación del gasoducto, las medidas preventivas para su rápido control, por si llegase a ocurrir algún evento inesperado. Algunas recomendaciones serían las siguientes:

Etapas de Construcción

- Establecer un procedimiento de control de calidad de los equipos y accesorios a instalar por el responsable de la obra, en él se deberá incluir el número de lote, composición química, propiedades mecánicas, espesores, etc.
- Diseñar y aplicar un procedimiento de soldadura y uno similar para la calificación de los soldadores, de acuerdo a las características de la tubería, accesorios y a los estándares nacionales e internacionales vigentes.
- Aplicar la normatividad vigente para protección de secciones superficiales de tubería con recubrimiento para evitar el inicio de procesos corrosivos por intemperismo.
- Supervisar que el proceso de apertura de zanja, alojamiento de tubería y tapado de la misma se haga de acuerdo a la normatividad aplicable, reportando cualquier anomalía o desviación que se presente.
- Supervisar por medio de una unidad verificadora y documentar las pruebas que se realicen al ducto en campo en todas sus fases.
- Los posibles accidentes se pueden dar durante la obra, para lo cual se tomarán las medidas de prevención reglamentarias de construcción, así como las dispuestas por el reglamento de seguridad e higiene en el trabajo. El personal será dotado de equipos protectores tales como cascos, zapatos de seguridad, googles, arneses y guantes.
- Se colocarán señalizaciones con cinta fluorescente para delimitar las áreas peligrosas o restringidas. Se dotará de un botiquín en obra para accidentes menores y se aseguró previamente la vacunación antitetánica del personal.
- Durante la construcción, como en toda obra, existen riesgos para los trabajadores como caídas, por colapso, por derrumbes, por quemaduras eléctricas o de combustible, en el manejo de la herramienta y equipo, etc., sin embargo, todos estos riesgos son comunes en todo proceso de construcción, por lo que existirán residentes y supervisores, quienes además de vigilar la calidad y procesos constructivos, vigilarán la seguridad de las operaciones. Se tomarán todas las medidas de seguridad y de prevención de accidentes conforme a lo dispuesto en el Reglamento de Construcciones y en el Reglamento de Prevención de accidentes en el trabajo.
- El posible riesgo de incendio estará cubierto con la utilización de materiales incombustibles en la mayoría de las actividades a realizarse, así como con la existencia de las instalaciones contra incendio.
- Se deberán tomar las medidas de seguridad adecuadas para evitar descargas eléctricas en los trabajos de soldadura.
- Se integrará una cuadrilla de limpieza en el entorno del trazo para mantenerlo limpio de tierra.

I.2 Sistemas de seguridad

I.2. Descripción de las medidas, equipos y dispositivos de seguridad

La reducción de riesgos comienza con el diseño del sistema del gasoducto. Como mínimo, deberán observarse estrictamente todos los códigos, reglamentaciones y las leyes mexicanas aplicables vigentes. Durante el proceso del diseño del sistema deben tenerse en cuenta varios factores, entre los cuales se destacan los siguientes:

- Especificaciones para la tubería, tales como la de Resistencia Mínima a la Cedencia (SMYS), capacidad de conducción y la Máxima Presión de Operación Permisible (MAOP), inclinación, espesor de las paredes, resistencia a la fractura, recubrimiento, soldabilidad, fatiga y vida útil
- Sobrepresión y control de la velocidad del gas
- Condiciones climáticas y de suelos
- Factor de vientos y actividad sísmica de la zona
- Densidad de la población
- Profundidad a la cual va enterrado el ducto
- Espaciamiento entre válvulas
- Procedimientos e inspecciones de calidad

De acuerdo con la **NOM-007-ASEA-2016** el Sistema de Transporte deberá cumplir con los requisitos siguientes:

Componentes

- Para el seccionamiento o corte de flujo de gas natural en un sistema, se deben utilizar válvulas para gas natural de cierre rápido, que soporten la presión de diseño, de acuerdo con la normatividad aplicable.
- Se deben usar válvulas para gas natural del tipo cierre rápido de un cuarto de vuelta donde se tenga una línea de desvío o puenteo que soporten la presión de diseño.
- Las válvulas para gas natural de cierre rápido de un cuarto de vuelta se deben localizar en lugares de fácil e inmediato acceso que permitan su operación en casos de emergencia.
- Cuando se instalen manómetros, éstos deben ir precedidos de una válvula de bloqueo.
- Las bridas y accesorios bridados que se instalen deben satisfacer los requisitos mínimos de temperatura y presión de diseño del sistema de transporte.

Protección Contra Corrosión

- Los tubos de acero al carbono, conexiones, accesorios y componentes de la instalación, enterrados, sumergidos y sobre el piso; se deben proteger contra la corrosión con recubrimientos adecuados al medio ambiente. Dicho recubrimiento debe cumplir con los requisitos de las normas aplicables, entre otros, los siguientes:
 - a) Adherencia con las superficies metálicas y entre las capas intermedias;
 - b) Resistencia al agrietamiento;
 - c) Resistencia mecánica para soportar daños propios de su aplicación, y
 - d) Resistividad eléctrica alta.
- En caso de requerirse, las tuberías de acero enterradas y/o sumergidas deben tener protección catódica de acuerdo con lo establecido, Control de la corrosión externa en tuberías de acero enterradas y/o sumergidas, de la Norma NOM-007-ASEA-2016, Transporte de Gas Natural.

Reguladores de Presión

- Los reguladores de presión deben instalarse precedidos de una válvula de corte de operación manual.
- En instalaciones residenciales, incluidos los edificios, los reguladores con válvula de alivio se deben localizar en el exterior.
- La capacidad y ajuste de cada regulador de presión debe ser la apropiada al servicio que presten.
- Los reguladores instalados en recintos cerrados que operen a una presión mayor a 34 kPa, tendrán una ventila que deberá dirigirse al exterior.
- Se debe llevar a cabo un programa continuo de inspección y reparación de reguladores para garantizar una operación segura y eficiente de estos equipos. La capacidad y el tamaño del regulador son los parámetros que se deben considerar en la frecuencia de las inspecciones y el grado de mantenimiento requerido. El mantenimiento para los reguladores de gran capacidad en instalaciones industriales se debe hacer en forma permanente, de conformidad con lo establecido en el programa de mantenimiento preventivo de la instalación. La revisión de estos reguladores consiste en verificar si existe alguna fuga en su diafragma y observar si hay escape de gas a través de la ventila.

I.2.1 Medidas Preventivas

Indicando las Medidas Preventivas o Programas de Contingencias que se Aplicarán, Durante la Operación Normal de la Instalación o Proyecto, para Evitar el Deterioro del Medio Ambiente (sistemas anticontaminantes), Incluidas Aquellas Orientadas a la Restauración de la Zona Afectada en Caso de Accidente.

Etapa de Operación

- Se contará con un **Plan de Atención a Emergencias** que se implementará durante la ejecución de los trabajos.
- Supervisar la correcta implementación del sistema de detección de fugas, de tal manera que se minimice el tiempo de respuesta para evitar daño.
- No exceder la presión de operación establecida para evitar fracturas en las líneas que conduzcan a situaciones de peligro al ambiente o a las instalaciones.
- Cumplir cabalmente con las actividades incluidas en el Manual de Operación y Mantenimiento del Sistema, así como revisarlo anualmente por medio de una Unidad de Verificación acreditada por la Comisión Reguladora de Energía.
- Iniciar una bitácora de accidentes y/o fugas en caso de que se presenten en el gasoducto para aplicar posteriormente un programa específico que ataque, evite eventos y consecuencias no deseadas.
- Monitoreo continuo, inspección y limpieza de las instalaciones exteriores, tales como casetas de regulación y medición, y sus equipos (medidores, reguladores, filtros, etc.)
- Capacitar al personal para que opere en forma correcta los dispositivos manuales de control, conozca los caminos de acceso y los fundamentos básicos de operación de las instalaciones que se encuentran en el área del estudio y así evitar al máximo errores humanos de operación.
- Será indispensable llevar a cabo supervisión periódica de la trayectoria para evitar invasión urbana al área de alojamiento y evitar también que se realicen trabajos con maquinaria pesada sobre el trayecto del gasoducto.
- Revisión y reposición (en caso de requerirse) de los señalamientos que indican la trayectoria a lo largo del recorrido del gasoducto, contemplando que se mencione el tipo de producto manejado y los teléfonos para comunicarse en caso de emergencia.

- Incluir la implementación de un Sistema de Administración de Seguridad Industrial, Seguridad Operativa y Protección al Medio Ambiente (SASISOPA), el cual es una herramienta que sustenta la gestión ambiental para mejorar el desempeño en el manejo de datos ambientales y la implantación de programas de manejo del ambiente; es capaz de administrar información sobre aspectos productivos, ambientales, socioeconómicos y normativos, en el espacio geográfico del estudio y en diversos formatos para atender los requerimientos específicos de la empresa y en favor del medio ambiente.
- La empresa encargada del sistema tomara las medidas preventivas y de control para evitar:
 - Incendios, emisiones y/o descargas de cualquier naturaleza, que pudieran presentarse
 - Ocasionar daños a los ecosistemas circundantes al sitio de trabajo, así como a la propiedad de terceras personas.
- El encargado del sistema será el responsable de los daños que se lleguen a ocasionar como consecuencia de una ejecución mal planeada o derivada de maniobras, descuidos, secuelas o problemas que generan otro tipo de contaminación a la que se pretenda eliminar o que incremente los daños ecológicos ya existentes o que repercutan en daños materiales a instalaciones, áreas superficiales o subterráneas aledañas
- La empresa deberá presentar un plan de contingencias ambientales que se implementará durante la ejecución de los trabajos.

Plan Integral de Seguridad en Instalaciones Industriales

El usuario de una instalación de este estilo deberá tomar las medidas de prevención sobre dicha instalación, para disminuir la probabilidad de ocurrencia de un siniestro. Las medidas deben incluir como mínimo los puntos siguientes:

- a) Actualización de los planos para la localización precisa de las instalaciones externas, de las válvulas de seccionamiento, sistemas de regulación y medición, y sus componentes;
- b) Capacitación de los trabajadores en aspectos de seguridad en la operación y mantenimiento del Sistema de Transporte de Gas Natural (STGN);
- c) Mantenimiento preventivo al sistema, incluyendo la protección catódica de las tuberías de acero enterradas (punto de interconexión a estación de regulación y medición principal).
- d) Detección de fugas mediante la revisión detallada del sistema de una manera sistemática y documentada, de conformidad con lo establecido en la NOM-007-ASEA-2016.
- e) Elaboración e instrumentación de procedimientos para el trabajo tanto en líneas vacías como en vivas para la supresión y reparación de fugas.

Operación y Mantenimiento de las Instalaciones Industriales

- Cuando se operen tuberías que contienen o han contenido gas, se debe observar lo siguiente:
 - a) No se permite fumar, tener flamas abiertas o cualquier otra fuente de ignición cercanas. Se deben usar linternas que sean a prueba de explosión;
 - b) En caso de requerirse corte, éste se debe hacer con equipo mecánico y se debe aterrizar la tubería en ambos lados del corte, se debe asegurar que no exista una mezcla explosiva en el área de trabajo utilizando el equipo de detección adecuado;
 - c) Se debe revisar el potencial eléctrico de la tubería de acero y desconectar la fuente de corriente antes de hacer algún trabajo en la línea.
 - d) Antes de proceder a soldar o cortar la tubería se debe cerrar todas las válvulas de suministro, purgar la línea y ventilar el área de trabajo;
 - e) Se pueden realizar trabajos en línea viva para la supresión y reparación de fugas, si se cuenta con personal calificado, procedimiento y equipo diseñado para este fin.
 - f) En caso de requerirse iluminación artificial para realizar trabajos, se deben utilizar lámparas e interruptores a prueba de explosión.

- Descripción del contenido del manual de operación.

El sistema de transporte debe contar con un manual de operación y mantenimiento en el que se describan detalladamente, los procedimientos que se llevan a cabo en el mismo.

El manual de operación y mantenimiento debe estar disponible a la autoridad competente y mantenerse actualizado. El manual debe contener, como mínimo lo siguiente:

- a) Descripción de los procedimientos de operación y mantenimiento del sistema durante la puesta en operación, operación normal y paro;
- b) Identificación de los puntos que presenten el mayor riesgo para la seguridad pública;
- c) Programa de inspecciones periódicas para asegurar que el sistema cumple con las condiciones de diseño;
- d) Programa de mantenimiento preventivo que incluya los procedimientos y los resultados de las pruebas e inspecciones realizadas en el sistema (bitácora de operación y mantenimiento), y
- e) Capacitación al personal que ejecuta las actividades de operación y mantenimiento para reconocer condiciones potencialmente peligrosas que estén sujetas a la presentación de informes a la autoridad competente.

Área de Seguridad:

- Será necesario establecer cursos intensivos de capacitación, entrenamiento de personal y elaboración de simulacros.
- Generar las alianzas necesarias con el distribuidor, los operadores del sistema y las autoridades locales de atención a emergencias, así como la promoción de un Comité Local de Ayuda Mutua con las empresas vecinas y localidades cercanas.
- Cumplir cabalmente con un **Programa de Prevención de Accidentes**, en el que se considere Educación Pública, Capacitación interna y Externa, Simulacros, comunicación con autoridades, etc. Los riesgos en general pueden reducirse aún más mejorando continuamente el mantenimiento, inspección y **auditorías de seguridad y ambiental tanto internas y externas**, lo que es recomendable incluir en los procedimientos normales de la empresa.
- Los riesgos de fugas por rotura o golpe al gasoducto por algún agente externo, se podrían reducir y hasta eliminar si se concientiza a la gente que transite cerca de las instalaciones, sobre los peligros que implica la invasión al Derecho de Vía y a la realización de trabajos en forma irresponsable. Para ello es necesario informar a estas personas mediante pláticas, señalamientos y boletines, sobre qué hacer en caso de que se presente un accidente y cómo actuar con prontitud de acuerdo al Plan de Emergencia del Gasoducto.
- Informar a la comunidad, a las autoridades municipales, estatales y federales sobre los horarios de operación y los riesgos del sistema, así como la coordinación de acciones de emergencia ante un siniestro.
- Implantar rigurosamente los planes y programas de capacitación, seguridad, inspección, controles de operación, vigilancia, etc., de tal forma que se garantice un involucramiento total de los recursos humanos, al esquema de seguridad.
- Contar con un número de atención a emergencias, en un tarjetón protegido contra la humedad, el cual deberá colocarse en lugares estratégicos y que se difunda perfectamente bien entre las autoridades locales y estatales, así como las comunidades vecinas del gasoducto.
- Realizar un Programa para la Prevención de Accidentes, de acuerdo con las guías de la ASEA, SEMARNAT y la CRE.

Tabla 42 Medidas de prevención y mitigación

RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN / MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS DE ACUERDO CON IMPACTO GENERADO							
Riesgo Identificado	Causas o Fallos	Medidas de prevención y Recomendación Sugerida		Medidas de Mitigación			
		No.	Descripción	Descripción			
Fuga de Gas Natural	Fracturas en tubería.	FG.1	Revisión continua por parte de operador para verificar puntos de corrosión o debilitamiento de tubería.	En este apartado cuando se presenta un impacto, es al generarse una fuga de gas natural, la misma puede ocasionar: *Dardos de fuego *Nubes inflamables y nubes de vapor NOTA: En el caso de nubes inflamables y nubes de vapor (cabe mencionar que debido a que la estación tendrá ventilación, no existirá riesgo de explosión o incendio por confinamiento)	<u>Dardos de Fuego</u>		
					<u>Afectación</u>	<u>Medida</u>	
		FG.2	Contar con válvulas de seccionamiento que aislen el sistema.		Suelo y/o vegetación	Se propone la remediación del cual resulte impactado, dejando el sitio en condiciones originales.	
		FG.3	Contar con detectores de gas natural e índice de zona explosiva		Personal o Población	Se brindarán los primeros auxilios y en caso de requerir una mayor atención, trasladar a la clínica más cercana al punto.	
		FG.4	Al momento de presentarse una fuga, cerrar válvulas que se encuentren corriente arriba y debajo de la fuga, con el fin de aislar el tramo o instrumento dañado.		Infraestructura	Se propone reparar el daño y las consecuencias que traiga el mismo.	
	FG.5	Informar a los involucrados que puedan dar solución al evento.	<u>Nubes Inflamables</u>				
			<u>Afectación</u>		<u>Medida</u>		
	Fracturas en accesorios o instrumentación.	FG.6	Revisión continua por parte de operador para verificar puntos de unión de accesorios o instrumentos.		Personal o Población	Se propone, contar con un procedimiento y adiestramiento adecuado de personal para controlar la situación, mantener la zona sin personas o alguien ajeno, y alejarse de lugares confinados cercanos, detectando la nube a partir de un detector portátil de gas natural.	
		FG.7	Se siguen recomendaciones FG.2, FG.3 y FG.5			Se atenderán con primeros auxilios a las personas involucradas, verificando que la persona no se encuentre en un estado anormal. Asimismo ofrecer oxígeno a la gente que sienta dificultad para respirar.	
	Operación inadecuada de la interconexión y de la estación	FG.8	Contar con un programa de pruebas de hermeticidad y recertificación de materiales acorde con recomendaciones de fabricante y normatividad.				
FG.9		Capacitación adecuada del personal a operar la interconexión y de la estación					
FG.10		Realizar bitácoras para reportar el mantenimiento, fallas y reparaciones a la interconexión y sus componentes					
Fracturas de material	Operación inadecuada de la interconexión y de la estación	FM.1	Capacitación adecuada del personal a operar la interconexión y sus elementos.	<u>Dardos de Fuego</u>			
				<u>Afectación</u>	<u>Medida</u>		

RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE PREVENCIÓN / MEDIDAS DE MITIGACIÓN PROPUESTAS DE ACUERDO CON IMPACTO GENERADO							
Riesgo Identificado	Causas o Fallos	Medidas de prevención y Recomendación Sugerida		Medidas de Mitigación			
		No.	Descripción	Descripción			
	Falta de mantenimiento	FM.2	Contar con programas de operación y mantenimiento de la estación	<p>NOTA: En caso de presentarse fracturas de material, se generaría una fuga de gas natural, por lo que las medidas de mitigación serían las mencionadas en el punto anterior.</p> <p>En este apartado cuando se presenta un impacto, es al generarse una fuga de gas natural, la misma puede ocasionar:</p> <p>*Dardos de fuego *Nubes inflamables y nubes de vapor</p> <p>NOTA: En el caso de nubes inflamables y nubes de vapor (cabe mencionar que debido a que la estación tendrá ventilación, no existirá riesgo de explosión o incendio por confinamiento)</p>	Suelo y/o vegetación	Se propone la remediación del cual resulte impactado, dejando el sitio en condiciones originales.	
		FM.13	En caso de presentarse alguna fractura, aislar el tramo dañado, y reemplazar bajo procedimiento autorizado. Se debe contar con un stock de tubería e instrumentos.		Personal o Población	Se brindarán los primeros auxilios y en caso de requerir una mayor atención, trasladar a la clínica más cercana al punto.	
		FM.14	Calibrar y certificar los materiales acordes con proveedor y normas.		Infraestructura	Se propone reparar el daño y las consecuencias que traiga el mismo.	
	Falta de supervisión	FM.15	Revisión continua por parte de operador para verificar puntos de corrosión o debilitamiento de tubería..		<u>Nubes Inflamables</u>		
		FM.16	Revisión continua por parte de operador para verificar puntos de unión de accesorios o instrumentos		<u>Afectación</u>	<u>Medida</u>	
	Falta de procedimientos	FM.17	Contar con un programa de supervisión y procedimientos definidos que puedan consultar los operadores para evitar el riesgo		Personal o Población	Se propone, contar con un procedimiento y adiestramiento adecuado de personal para controlar la situación, mantener la zona sin personas o alguien ajeno, y alejarse de lugares confinados cercanos, detectando la nube a partir de un detector portátil de gas natural.	
		FM.18	Verificar que se cuente con dictámenes de diseño y certificado de materiales y accesorios (e instrumentos).			Se atenderán con primeros auxilios a las personas involucradas, verificando que la persona no se encuentre en un estado anormal. Asimismo ofrecer oxígeno a la gente que sienta dificultad para respirar.	
		FM.19	Reportar en una bitácora el estado de los materiales.				
		FM.20	Actualizar los procedimientos cada que haya cambio de condiciones de operación, de equipo, de filosofía operacional o en base a normatividad.				

CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Conclusiones del estudio determinando la factibilidad del mismo.

I. Conclusiones

Haciendo una revisión detallada de los objetivos planteados para la realización de esta tesis, podemos concluir que:

- ❖ Se realizó el Análisis de Riesgo de un Sistema de Transporte de Gas Natural (STGN), para el suministro a una planta de generación de energía eléctrica a instalarse en Lagos de Moreno, Jalisco.
- ❖ Se utilizaron las metodologías de Identificación, Jerarquización y Simulación de Riesgos para la evaluación del sistema, permitiendo con ello determinar el nivel de riesgo del estudio y la disminución de éste en función a las mejores prácticas y recomendaciones técnicas, operativas y administrativas en la prevención de accidentes.
- ❖ Se recabaron los resultados del Análisis de Riesgo del Sistema de Transporte de Gas Natural, con miras a describir las zonas de protección en torno a las instalaciones del estudio.
- ❖ Se Definieron las medidas de seguridad y preventivas en materia ambiental para el estudio del STGN en cuestión, que permitan disminuir el riesgo evaluado originalmente.

Es muy importante destacar la vinculación e influencia del trabajo del Ingeniero Químico en el desarrollo de este tipo de estudios, ya que puede aportar mucho de su conocimiento técnico y plasmarlo en el documento, enriqueciendo el contenido de éste, fomentando así la relación multidisciplinaria, la experiencia y conocimiento de las diferentes ramas de ingeniería para su evaluación y seguimiento a lo largo del tiempo.

I.1 Conclusiones del Estudio de Riesgo Ambiental

- Como resultado de este estudio se puede concluir que el sistema de transporte considerado en el estudio utilizará equipos modernos y contará con las medidas necesarias para aminorar los riesgos que implica la operación de este sistema.
- Asimismo, el diseño actual considera la aplicación de la normatividad y prácticas recomendadas apropiadas como corresponde a este tipo de instalaciones industriales y sus riesgos asociados.
- Para el caso de su diseño de detalle y su construcción se ha previsto el cumplimiento de la normatividad y especificaciones más estrictas, mismas que son las requeridas por la industria de distribución de hidrocarburos a nivel internacional y que se le ha dado relevancia a la seguridad y a las previsiones ambientales enfocadas al cuidado de la salud y seguridad de los trabajadores y de la comunidad, así como el cuidado del ambiente.
- Sin embargo, se detecta también que se cuenta con un área de oportunidad importante en lo referente a la postura de la seguridad por parte de la administración y sus trabajadores, ya que, al implementar prácticas de capacitación y continuidad en el proceso de seguridad, mejorarán sus prácticas operativas.
- De acuerdo con la información técnica del estudio, podemos decir que se cubren adecuadamente los aspectos de la seguridad a través de la integridad mecánica de los equipos y sistemas y que las instalaciones contarán con los medios adecuados para el cuidado del ambiente. Se advierten también las previsiones apropiadas para evitar y controlar las posibles alteraciones a las condiciones normales de operación que pudieran originar riesgos por fuga de Gas Natural.

- Acorde con los resultados del estudio es factible mencionar que el área verificada con la revisión de las políticas, sistemas, características del diseño y compromisos de seguridad involucrados, el nivel de riesgo del sistema de transporte de gas natural es aceptable y sus consecuencias no afectarían a la población aledaña ni a sus bienes alrededor de dicho sistema.
- Por lo anterior, se puede resumir diciendo que el estudio, tiene un nivel de riesgo aceptable y el control y atención de los mismos se verá centralizado dentro de los límites del área destinada a estas obras de ampliación.

I. Recomendaciones

El seguimiento de las siguientes recomendaciones fomentará tanto en los directivos como encargados del sistema en general una cultura de seguridad, con miras a una mejora continua que dará como resultado una instalación con un menor nivel de riesgo:

Técnicas

- Es muy conveniente que se mantenga la cobertura total de extinguidores contra incendio en las instalaciones externas.
- No escatimar en los detectores de explosividad, humo, fuego o tóxicos asociados a sistemas de alarmas sonoras y luminosas en campo y vincularlos con un área de control.
- Mantener en condiciones óptimas los sistemas de contención y drenaje.
- Ya que se cuenta con válvulas de seccionamiento de equipo, se recomienda darles el mantenimiento correspondiente.

Administrativas

- Contar con un buen control y archivo de los programas de inspección técnica y seguridad (calibración de tuberías, equipos y válvulas de seguridad, pruebas de hermeticidad, etc.).
- Implementar un programa de integridad mecánica basado en el código API-581 (Inspección basada en riesgos).
- Elaborar e implementar un programa de capacitación efectiva teórico-práctica del personal operativo tanto en cuestiones operativas como de atención en caso de emergencia.
- Mantener en las áreas operativas y de mantenimiento los procedimientos de emergencia generales y específicos para cada área.
- Documentar de forma sencilla y ordenada la estructura, organización y responsabilidades definidas, de todos los involucrados con la atención de emergencias en el sistema de transporte.
- Revisión continua del cumplimiento normativo involucrado, así como acceso, difusión y cumplimiento de la normatividad aplicable vigente.
- Administración y documentación adecuada de los cambios durante todas y cada una de las fases del estudio, acorde a los programas establecidos por el área de seguridad correspondiente.

- Planes de respuesta a emergencias para escenarios de riesgo mayor, así como la búsqueda de la conformación y/o participación con algún Comité Local de Ayuda Mutua (CLAM).
- Contar en las instalaciones y gerencias de área con los procedimientos de operación, mantenimiento y seguridad por escrito.
- Realizar reuniones continuas en las que se acuerden con los encargados y supervisores, los pasos a seguir para mantener una cultura de seguridad en el sistema.

Operación y Mantenimiento

- Contar con un programa de mantenimiento predictivo, preventivo y refacciones suficientes para el mantenimiento correctivo.
- Ajustarse a las guías estatales y federales de la Dirección de Ecología para el cumplimiento documental requerido.
- Mantener un programa intenso de capacitación y desarrollo de profesionistas en las áreas de operación, mantenimiento, seguridad y atención a emergencias para atender las instalaciones.

I.3 Informe Técnico

El informe técnico del estudio de riesgo se encuentra formando parte del presente documento como inciso a) del *Anexo I*.

Apéndices y Anexos

Instrumentos metodológicos y elementos técnicos que sustentan la información señalada en el estudio de riesgo ambiental. Finalmente se reporta la bibliografía y referencias electrónicas consultadas para la elaboración de esta tesis.

Identificación de los Instrumentos Metodológicos y Elementos Técnicos que sustentan la información señalada en el Estudio de Riesgo Ambiental

I.1 Formatos de Presentación

De acuerdo al artículo 19 del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación de Impacto Ambiental, se entregará un (1) ejemplares impresos de la Manifestación de Impacto Ambiental (por un uso responsable del papel); y dos CD's con el respaldo magnético del Estudio de Riesgo Ambiental (ERA en formato Word y sus anexos, planos e información que complementa el estudio) de los cuales uno será utilizado para consulta pública.

1.1.1. Planos de Localización

El Diagrama de Flujo de Proceso y los planos de localización, se podrán observar a lo largo del estudio.

La información utilizada en este trabajo se describe a continuación:

Tabla 43 Información utilizada en el trabajo

RASTER		
Insumo	Descripción	Fuente
Continuo de Elevaciones Mexicano (CEM) V 2.0 escala 1:50,000	Son archivos que almacenan datos de elevación (MDE) del terreno los cuales se pueden procesar posteriormente para obtener diversos productos.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continental/continuoElevaciones.aspx
Cuencas Visuales	Se obtienen mediante ArcMap, empleando una herramienta llamada Viewshed y el MDE del CEM	ESRI Inc. ArcGis Desktop 9.3 Service Pack 1
Fallas y Fracturas. Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000.	Representa las estructuras geológicas originadas por los eventos tectónicos. Conjunto de Datos Vectoriales Geológicos. Continuo Nacional. Escala 1:1'000,000.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Climas	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 y 1:50 000 de INEGI.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Suelos	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 y 1:50 000 de INEGI.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Vías de comunicación	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 y 1:50 000 de INEGI	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx

RASTER		
Insumo	Descripción	Fuente
Rasgos hidrográficos	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 y 1:50 000 de INEGI.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Localidades	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 y 1:50 000 de INEGI	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Datos del relieve	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 y 1:50 000 de INEGI.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Zonas de protección de la naturaleza	Estos conjuntos de datos vectoriales compuestos por entidades de tipo punto, línea y área de la serie topográfica y de recursos naturales escala. 1:1 000 000 de INEGI.	http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/topografia/InfoEscala.aspx
Áreas de Interés para las Aves (AICAS)	Datos Vectoriales de Áreas de Interés para las Aves en México.	http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/aica250kgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
Regiones Terrestres Prioritarias	Datos Vectoriales de regiones prioritarias terrestres para la conservación de la biodiversidad en México	http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rtp1mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
Regiones Hidrológicas Prioritarias	Datos Vectoriales de regiones hidrológicas prioritarias por su biodiversidad	http://www.conabio.gob.mx/informacion/metadatos/gis/rhpri4mgw.xml?_httpcache=yes&_xsl=/db/metadatos/xsl/fgdc_html.xsl&_indent=no
Áreas Naturales Protegidas (ANP)	Datos Vectoriales de las áreas declaradas como Áreas Naturales Protegidas	http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/

I.1.2 Fotografías

Las fotografías están integradas en cada uno de los capítulos correspondientes, ya que aún no se ha realizado la obra no se tiene un anexo fotográfico como tal.

Se referencian algunos croquis en los que se utilizaron fotografías aéreas del área a partir del uso del Google Earth



I.2 Otros Anexos

En cada capítulo vienen indicados sus propios anexos

Índice de Tablas

Capítulo I

Tabla 1	Coordenadas geográficas de la instalación a la que se realizó el estudio.....	3
Tabla 2	Longitud aproximada por tramos de tubería (en base a los planos de localización).....	4
Tabla 3	Requerimientos del usuario	5
Tabla 4	Cálculo de espesor del tubo	7
Tabla 5	Factor por clase de localización.....	8
Tabla 6	Especificaciones para tubería.....	9
Tabla 7	Cálculo de Gas de empaque.....	12
Tabla 8	Balance de materia.....	13

Capítulo II

Tabla 9	Ejemplo de la lista de Verificación	18
Tabla 10	Estadísticas de eventos.....	19
Tabla 11	Tipos de fallas	20
Tabla 12	Distribución relativa de dimensiones de orificios.....	20
Tabla 13	Frecuencia y modo de fallas.....	20
Tabla 14	Porcentaje de incidentes, rupturas y fugas según la causa	21
Tabla 15	Emergencias ambientales reportadas a la PROFEPA	21
Tabla 16	Estadísticas de fallecimientos relacionados con el transporte- 1989	25
Tabla 17	Estadísticas de fallecimientos relacionados con accidente en EE. UU 1989.....	26
Tabla 18	Eventos ocurridos en México.....	29
Tabla 19	Distribución típica de las causas de fallas 1985-1999.....	30
Tabla 20	Clasificación de incidentes en ductos por componentes del sistema	31
Tabla 21	Histogramas de frecuencia de localización de fugas en tuberías de diferente diámetro ..	32
Tabla 22	Condiciones de estabilidad meteorológica de Pasquill	38
Tabla 23	Grado de riesgo.....	43
Tabla 24	Registros de incidentes	43
Tabla 25	Potencial de explosión.....	44
Tabla 26	Índice de explosión varios valores A.....	44
Tabla 27	Categorías de toxicidad (U)	44
Tabla 28	Categorías de toxicidad (C)	45
Tabla 29	Categorías de toxicidad (R)	45
Tabla 30	Resultado índices del sistema	46
Tabla 31	Resultado índices con reducción	46
Tabla 32	Probabilidad de ocurrencia	49
Tabla 33	Interpretación de resultados	49
Tabla 34	Jerarquización de riesgos.....	50
Tabla 35	Ejemplo Hoja de Trabajo HazOp	51
Tabla 36	Resultados Finales HazOp	52
Tabla 37	Jerarquización de Riesgos en el Nodo 1.....	54
Tabla 38	Jerarquización de Riesgos en el Nodo 2.....	54
Tabla 39	Jerarquización de Riesgos en el Nodo 3.....	55
Tabla 40	Jerarquización de Riesgos Totales por Nodo	55
Tabla 41	Interacciones de Riesgo resultantes de su identificación, jerarquización y evaluación ...	61
Tabla 42	Medidas de Prevención y Mitigación.....	74

Apéndices y Anexos

Tabla 43	Información en el trabajo.....	81
----------	--------------------------------	----

Índice de Figuras

Capítulo I

Figura 1 Ubicación del Trazo del Sistema de Transporte de Gas Natural.....	2
Figura 2 Radios de Afectación Estación de Regulación y Medición.....	3
Figura 3 Rombo de Identificación de Riesgos de la NFPA-704	10
Figura 4 Medidas de Seguridad del Gas Natural	10
Figura 5 Diagrama de Flujo del Proceso	14

Capítulo II

Figura 6 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA	22
Figura 7 Sustancias Involucradas en Emergencias	22
Figura 8 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA (Período 2000 – 2014)	23
Figura 9 Emergencias Ambientales Reportadas a la PROFEPA (Período 2000 – 2014).....	24
Figura 10 Tipos de Falla.....	28
Figura 11 Análisis Estadístico de los Daños a la Población Ocasionados por las Emergencias Ambientales	28
Figura 12 Emergencias y Afectaciones Reportadas a PROFEPA Durante período 1993 – 2009 ..	29
Figura 13 Desarrollo y Dispersión de una Nube de Gas Pesado.....	36
Figura 14 Diagrama de Flujo del Método (Índice Mond)	42

ANEXO

I

INFORME TÉCNICO

“Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.”

Datos Generales

Giro de la Empresa

<input type="checkbox"/> Petroquímico	<input type="checkbox"/> Minero	<input type="checkbox"/> Químico	<input type="checkbox"/> Metalúrgico	<input type="checkbox"/> Gasero	<input type="checkbox"/> Agroindustrial
<input type="checkbox"/> Alimentos y Bebidas	<input type="checkbox"/> Petróleo y Derivados	<input type="checkbox"/> Residuos Peligrosos	<input checked="" type="checkbox"/> Otros (Especificar)	Usuario final por definir y Parque Industrial Colinas del Lago	

Uso de Suelo donde se Ubicará el Estudio

<input type="checkbox"/> Agrícola	<input type="checkbox"/> Rural	<input type="checkbox"/> Habitacional	<input type="checkbox"/> No Cuenta con Uso de Suelo
<input type="checkbox"/> Comercial	<input type="checkbox"/> Mixto	<input checked="" type="checkbox"/> Industrial	<input type="checkbox"/> Otros (Especificar)

El Estudio se Pretende Ubicar en una Zona con las Sigüientes Características

<input checked="" type="checkbox"/> Zona Industrial	<input type="checkbox"/> Zona Habitacional	<input type="checkbox"/> Zona Suburbana
<input checked="" type="checkbox"/> Parque Industrial	<input type="checkbox"/> Zona Urbana	<input type="checkbox"/> Zona Rural

Localización Geográfica

Coordenadas Latitud N: _____ 21° 23' 05.32" Área Requerida: _____ 0.018180 Km²

Coordenadas Longitud W: _____ 101° 52' 53.19" _____

“Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.”

Sustancias Manejadas

Nombre Químico la Sustancia (IUPAC)	Número CAS	Densidad (gr/cm³)	Riesgo Químico						Capacidad Total		Capacidad de la Mayor Unidad de Almacenamiento
			C	R	E	T	I	B	Almacenamiento (unidad)	Producción (Unidad/día)	
Gas Natural	74-82-8	0.0008034					XX		N/A	77,880 m³/hr	N/A

Identificación y Jerarquización de Riesgos Ambientales

Número de Falla	Número de Evento	Falla	Accidente Hipotético			Ubicación			Metodología Empleada para la Identificación de Riesgos	
			Fuga	Incendio	Explosión	Etapa de Operación				Unidad o Equipo de Proceso
						Transporte	Regulación	Compresión		
Nodo 1	A	Ruptura Unión	XX	XX	XX		XX		ERM Principal	Check List, Hazop, Mond
Nodo 2A	A	Ruptura Tubo	XX	XX	XX	XX			Tubería del trayecto de ERM principal a ERM Usuario	Check List, Hazop, Mond
Nodo 2B	A	Ruptura Tubo	XX	XX	XX	XX			Tubería del trayecto de ERM principal a ERM Usuario	Check List, Hazop, Mond
Nodo 3	A	Ruptura Unión	XX	XX	XX		XX		ERM Usuario	Check List, Hazop, Mond

Estimación de Consecuencias (Se clasificará el riesgo en Catastrófico, Grave, Significativo, Reparable o Ninguno, de cada caso al final de este reporte)

Número de Falla	Número de Evento	Tipo de Liberación		Cantidad Hipotética Liberada		Estado Físico	Programa de Simulación Empleado	Zona de Alto Riesgo		Zona de Amortiguamiento	
		Masiva	Continua	Cantidad	Unidad			Distancia (m)	Tiempo (seg)	Distancia (m)	Tiempo (seg)
Nodo 1	A		XX	81.39	Lb/min	Gas	Archie, (G, H, I)	36.57	600	72.84	600
Caso 2A	A		XX	690.11	Lb/min	Gas	Archie, (G, H, I)	56.64	900	106.98	900
Caso 2B	A		XX	12,513	Lb/min	Gas	Archie, (G, H, I)	267.00	300	533.70	300
Nodo 3	A		XX	67.404	Lb/min	Gas	Archie, (G, H, I)	16.46	600	32.9216.15	600

“Sistema de Transporte de Gas Natural para suministro a empresa generadora de energía eléctrica en el parque industrial “Colinas del Lago” en el municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco.”

Crterios Utilizados

Número de Falla	Número de Evento	Toxicidad				Explosividad		Radiación Térmica		Otros Criterios
		IDHL	TLV ₈	Velocidad del Viento (m/seg)	Estabilidad Atmosférica	0.035 Kg/cm ²	0.070 Kg/cm ²	1.4 KW/m ²	5.0 KW/m ²	
Nodo 1				2.23	B	XX	XX	XX	XX	Emisión de 10 minutos
Nodo 1				2.23	F	XX	XX	XX	XX	Emisión de 10 minutos
Nodo 2A				2.23	B	XX	XX	XX	XX	Emisión de 15 minutos
Nodo 2A				2.23	F	XX	XX	XX	XX	Emisión de 15 minutos
Nodo 2B				2.23	B	XX	XX	XX	XX	Emisión de 5 minutos
Nodo 2B				2.23	F	XX	XX	XX	XX	Emisión de 5 minutos
Nodo 3				2.23	B	XX	XX	XX	XX	Emisión de 10 minutos
Nodo 3				2.23	F	XX	XX	XX	XX	Emisión de 10 minutos

METODOLOGÍAS

Técnicas de Evaluación de Riesgos

	Análisis de Seguridad	Lista de Verificación	Jerarquización	Análisis Preliminar de Riesgos	¿Qué pasa Sí?	Análisis de Riesgo y Probabilidad	Análisis de Modo de Fallas y Efectos	Análisis de Árbol de Fallas	Análisis de Árbol de Eventos	Análisis de Causa - Consecuencia
Investigación de Desarrollo										
Diseño Conceptual		XX	XX	XX	XX	XX				
Operación de planta piloto										
Ingeniería de Detalle		XX	XX	XX	XX	XX				
Construcción Inicio	XX	XX	XX	XX	XX	XX				
Operación de Rutina										
Investigación de accidentes		XX		XX	XX	XX				
Desmantelamiento										

Glosario de Términos

- **Accidente:** Suceso fortuito e incontrolado, capaz de producir daños.
- **Actividades altamente riesgosas:** Acción o serie de pasos u operaciones comerciales y/o de fabricación industrial, distribución y ventas en que se encuentran presentes una o más sustancias peligrosas, en cantidades iguales o mayores a su cantidad de reporte, que al ser liberadas a condiciones anormales de operación o externas, provocarían accidentes y posibles afectaciones al ambiente.
- **Asentamiento humano:** El establecimiento de un conglomerado demográfico, con el conjunto de sus sistemas de convivencia, en un área físicamente localizada, considerando dentro de la misma los elementos naturales y las obras materiales que lo integran.
- **Biota:** Conjunto de flora y fauna de una región.
- **BLEVE:** "*Boiling liquid expanding vapor explosion*" Es el acrónimo del idioma inglés que significa explosión de vapores en expansión de líquido en ebullición.
- **Caducidad del Procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental (PEIA):** Es la pérdida o extinción de una acción o un derecho por inacción del titular en plazo perentorio, conforme a lo dispuesto a las disposiciones legales aplicables.
- **Cantidad de reporte:** Cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transportes dados que, al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población, o a sus bienes.
- **Centros de población:** Son las áreas constituidas por las zonas urbanizadas, las que se reserven a su expansión y las que se consideren no urbanizables por causas de preservación ecológica, prevención de riesgos y mantenimiento de actividades productivas dentro de los límites de dichos centros; así como las que por resolución de la autoridad competente se provean para la fundación de los mismos.
- **Conurbación:** la continuidad física y demográfica que formen o tiendan a formar dos o más centros de población.
- **Desarrollo Urbano:** Es el proceso de planeación y regulación de la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población.
- **Efecto Ecológico Adverso:** Cambios considerados como no deseables porque alteran características estructurales o funcionales importantes de los ecosistemas o sus componentes.
- **Emergencia:** Situación derivada de actividades humanas o fenómenos naturales que, al afectar severamente a sus elementos, pone en peligro a uno o varios ecosistemas o la pérdida de vidas humanas.
- **Estudio de Riesgo (ER):** Documento presentado, por personas físicas, morales u organismos de la Administración Pública Federal, ante las autoridades ambientales federales para su análisis y evaluación, el cual está compuesto por dos partes; aquella donde se emplean una serie de metodologías de tipo cualitativo y cuantitativo para identificar y jerarquizar riesgos; y la otra parte conocida como análisis de consecuencias, donde se utilizan modelos matemáticos de simulación para cuantificar y estimar dichas consecuencias, así como los riesgos probables que éstas representan para los ecosistemas, la salud o el ambiente, y que incluye las medidas técnicas preventivas, correctivas y de seguridad, tendientes a mitigar o evitar los efectos adversos que se causen en caso de un posible accidente, durante la realización u operación normal de la obra o actividad de que se trate.
- **Evaluación de riesgo:** El proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento y la magnitud probable de los efectos adversos (en la seguridad, salud, ecología o financieros), durante un periodo específico.

- **Evaluación del Riesgo Ambiental (ERA):** Es el proceso que evalúa el riesgo ambiental de un proyecto requiriendo tanto el conocimiento de los efectos ecológicos adversos que pueda causar la exposición de compuestos químicos o materiales (propiedades físico-químicas, biodegradabilidad, potencial de bioacumulación), así como, de la intensidad y duración necesaria para que éstos sean capaces de producir efectos adversos sobre el medio ambiente y/o la población (fuentes de emisión, transporte y distribución en los distintos medios). Para todo ello, se hace imprescindible el análisis de muestras ambientales en el laboratorio y la aplicación de modelos matemáticos.
- **Exposición:** Acceso o contacto potencial con un agente o situación peligrosa; contacto del límite extremo de un organismo con agentes químicos, biológicos o físicos.
- **Exposición aguda/efecto:** Exposición única a una sustancia (por lo general en alta concentración y con duración no superior a un día) que da por resultado daños biológicos severos, por lo común evidentes a corto plazo.
- **Exposición crónica/efecto:** Exposición continua o repetida (generalmente en bajas concentraciones durante largos periodos o persistencia de los efectos a largo plazo, el (los) efecto(s) pueden no ser claros durante un plazo largo después de la exposición inicial. Exposiciones y efectos subagudos y subcrónicos, son intermedios entre agudos y crónicos (por lo general de unas cuantas semanas a varios meses).
- **Falla del sistema:** Situación excepcional atribuible a defectos de los componentes y a su interacción de los mismos con el exterior.
- **Gas de Empaque:** Cantidad de gas que se utiliza para llenar la tubería en su totalidad por primera vez, desplazando así el aire que esta contiene.
- **IDLH:** "Inminentemente peligrosa para la vida y la salud", por sus siglas en inglés, concentración máxima de sustancia peligrosa, expresada en partes por millón (ppm) o en mg/m³, a la cual, en caso de falta o inexistencia de equipo respiratorio, se podría escapar del ambiente en un plazo de 30 minutos sin experimentar síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud.
- **Incidente:** Toda aquella situación anómala, que suele coincidir con situaciones que quedan controladas.
- **Impacto ambiental:** Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre.
- **Información adicional:** Es un conjunto organizado de datos procesados, que constituyen un mensaje con respecto a las aclaraciones, rectificaciones o ampliaciones al contenido de las MIA'S que incluyen los Estudios de Riesgo Ambiental (ERA), con el fin de que el evaluador cuente con los elementos y evidencias técnicas-científicas para crear un conocimiento o información organizada que le permita la solución de problemas o la toma de decisiones durante el análisis y evaluación de la documentación antes citada.
- **Infraestructura:** Conjunto de elementos o servicios que se consideran necesarios para la creación y funcionamiento de una organización cualquiera, es decir, aquella realización humana que sirven de soporte para el desarrollo de otras actividades y su funcionamiento, necesario en la organización estructural de una ciudad. (Infraestructura del transporte, infraestructuras energéticas, infraestructura de telecomunicaciones, infraestructuras sanitarias, infraestructuras hidráulicas, entre otros).
- **Lista de verificación:** Lista detallada de requerimientos o pasos para evaluar el estado de un sistema u operación y asegurar el cumplimiento de procedimientos de operación estándar.
- **Manejo:** Alguna o el conjunto de las actividades siguientes; producción, procesamiento, transporte, almacenamiento uso o disposición final de sustancias peligrosas.
- **Manifestación de impacto ambiental (MIA):** Documento mediante el cual se da a conocer con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo, atenuarlo o compensarlo en caso de que sea negativo.
- **Medio Ambiente:** El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

- **Mitigación:** Conjunto de acciones para atenuar, compensar y/o restablecer las condiciones ambientales existentes antes de la perturbación y/o deterioro que provocara la realización de algún proyecto en cualquiera de sus etapas.
- **MSDS:** Material Safety Data Sheet
- **Plan de emergencia:** Sistema de control de riesgos que consiste en la mitigación de los efectos de un accidente, a través de la evaluación de las consecuencias de los accidentes y la adopción de procedimientos. Este solo considera aspectos de seguridad.
- **Peligro:** Característica de un sistema o proceso de material que representa el potencial de accidente (fuego, explosión, liberación tóxica).
- **Procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental (PEIA):** El Procedimiento de Evaluación del Impacto Ambiental (PEIA) es el mecanismo previsto por la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente² (LGEEPA) mediante el cual la autoridad ambiental establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o que puedan rebasar los límites y condiciones establecidas en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente, con el objetivo de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre los ecosistemas.
- **Programa para la prevención de accidentes:** Programa que aplica políticas, procedimientos y prácticas administrativas a las tareas de analizar, evaluar y controlar accidentes.
- **Promovente:** Persona física, moral u organismo de la Administración Pública Federal, estatal y/o municipal que somete al PEIA las MIA's que incluyen su respectivo ER.
- **Proyecto:** Conjunto de obras y/o actividades tendientes a la creación de alguna estructura, infraestructura y/o superestructura determinada.
- **Residuos Peligrosos:** Son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece en esta Ley.
- **Resolutivo (Resolución):** Es el acto administrativo emitido por la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental al finalizar la evaluación de las MIA's que incluyen su respectivo ER, en el cual se determina negar el proyecto, cuando este no fuera ambientalmente sustentable; autorizándolo en los términos propuestos; o, autorizándolo sujeto al cumplimiento de condicionantes que tendrán por objeto evitar, atenuar o compensar los impactos ambientales adversos susceptibles de ser producidos en la construcción, operación normal, etapa de abandono, término de vida útil o en caso de accidente.
- **Riesgo:** Situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada.
- **Riesgo ambiental:** Probabilidad de que ocurran efectos adversos sobre el medio ambiente o la salud humana como resultado de la exposición a uno, o más, agentes físicos, químicos y/o biológicos.
- **Riesgo específico:** Riesgo asociado a la utilización o manejo de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radiactivos).
- **Riesgo mayor:** Relacionado con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una gravedad tal que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar áreas considerables.
- **Sustancia explosiva:** Aquélla que en forma espontánea o por acción de alguna forma de energía genera una gran cantidad de calor y energía de presión en forma casi instantánea.
- **Sustancia inflamable:** Aquélla que capaz de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales para prenderse espontáneamente o por la acción de una chispa.
- **Sustancia peligrosa:** Aquella que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radioactividad, corrosividad o acción biológica puede ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.
- **Sustancia tóxica:** Aquélla que puede producir en organismos vivos, lesiones, enfermedades, alteraciones al material genético de los organismos o muerte.

-
- **TLV:** “Valor Umbral Limite” (por sus siglas en inglés). “Concentración media ponderada en el tiempo, para una jornada normal de trabajo de 8 horas y una semana laboral de 40 horas, a la que pueden estar expuestos casi todos los trabajadores repetidamente día tras día, sin que se evidencien efectos adversos”. (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*).
 - **Vulnerabilidad:** Estimación de lo que pasará cuando los efectos de un accidente (radiación térmica, onda de choque, evolución de la concentración de una sustancia, entre otros.) actúan sobre las personas, el medio, sobre edificios, equipo, entre otros. Esta estimación puede realizarse mediante una serie de datos tabulados, gráficos y por los modelos de vulnerabilidad.
 - **Zona intermedia de salvaguarda:** Área determinada del resultado de la aplicación de criterios y modelos de simulación de riesgo que comprende las áreas en las cuales se presentarían límites superiores a los permisibles para la salud del hombre y afectaciones a sus bienes y al ambiente en caso de fugas accidentales de sustancias tóxicas y de la presencia de ondas de sobrepresión en caso de formación de nubes explosivas. Esta se conforma por la zona de alto riesgo y la zona de amortiguamiento.
 - **Zona de amortiguamiento:** Área donde pueden permitirse determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al ambiente restringiendo el incremento de la población asentada.
 - **Zona de riesgo:** Área de restricción total en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo asentamientos humanos, agricultura con excepción de actividades de forestación, cercamiento y señalamiento de la misma, así como el mantenimiento y vigilancia.

Bibliografía Consultada

ARRIAGA, L, J. M. ESPINOZA et al (Coord.). 2000. Regiones terrestres prioritarias de México.

Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, México.

BOJORQUES TAPIA, L. y ORTEGA RUBIO, A. 1989 Análisis de Técnicas de Simulación Cualitativa para la Predicción del Impacto Ecológico, Ciencias 40:71-78.

BOUL S.W.-HOLE F.D.-MCCRACKEN R.J., 1983.Génesis y Clasificación de Suelos. Editorial Trillas, pp 35-58.

CANTER, W. L., 1977 Environmental Impact Assessment. Ed. McGraw-Hill, U.S.A.

CANTER, W. L., 1979 Handbook of Variables for Environmental Impact Assessment. Ann Arbor Science, U.S.A.

CANTER, W. L., et al, 1991 Identification and Evaluation of Biological Impact Mitigation Measures. Journal of Environmental Management U.S.A. 33:35-50 p.

CANTER W. L. 1998 Manual de Evaluación de Impacto Ambiental: segunda edición. Mc Graw Hill Interamericana de España, S.A.U. Pág. 71-121.

D.A.E.U., 1973 Manual de Conservación de suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Ed. Limusa, México, 327pp.

DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACION, 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-2001. Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. Diario Oficial de la Federación, miércoles 6 de marzo del 2002.

ENKERLI, E. CANO, G. GARZA R. y VOGEL E. 1997 Ciencia ambiental y desarrollo sostenible. Thomas editores.

ENVIRONMENTAL PROTECTON AGENCY, 1992 Environmental Impact Assessments. U.S.A.

GARCIA, E. 1988 Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köopen para adaptarla a las condiciones de la República Mexicana. Instituto de Geografía UNAM, 4a. ed. Ed. SIGSA, México, 217pp.

GOLDEN, J., OVELLETTE, R.P., SAARI, S. y CHEREMISINOFF P.N., Environmental Impact, Data Book Arun Arbor Science.

Hazardous Chemical Data. NFPA 49, 1975

HENRY, J. GLYNN y HEINKE, GARY W.,1999. Ingeniería Ambiental, Prentice Hall, México, 800 pp.

Índice de Incendio y Explosión "Guía para la Clasificación de Riesgos" 5ª Edición, 1980

INEGI, 1981 Guías para la Interpretación Cartográfica: Climatología. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. México, 2ª. Reimpresión. 50p.

INEGI, 1981 Guías para la Interpretación Cartográfica: Edafología. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática, México, 2ª. Reimpresión. 41p.

INEGI, 1981 Guías para la Interpretación cartográfica: Geología. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. México, 2ª. Reimpresión. 32p.

INEGI, 1981 Guías para la Interpretación Cartográfica: Topografía. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. México, 2ª. Reimpresión. 30p.

INEGI, 1981 Guías para la Interpretación Cartográfica: Uso del Suelo. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. México, 2ª. Reimpresión. 49p.

INEGI, 1989 Guías para la Interpretación Cartográfica: Hidrología. Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática. México, 2ª. Reimpresión. 33p.

INEGI, 2011. Síntesis de información geográfica del Estado de Jalisco. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Estado de Jalisco

INEGI, 2011. INEGI. Sistema para la Consulta del Anuario Estadístico Estado de Jalisco. CD. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.

Nacional Electric Code, Última Edición

ORDÓÑEZ, M. J. y O. FLORES. 1995. Áreas naturales protegidas en México. Pronatura. México.

Properties of Flammable Liquids, Gases and Volatiles Solides. NFPA 325 M, 1984

SANCHEZ VICENTE, et al, 1982 Glosario de Términos sobre Medio Ambiente. El Colegio de México. México.

SECRETARIA DE GOBERNACION, 2011 Atlas Nacional de Riesgos. 251 pp.

SEMARNAT, 1988 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Diario Oficial de la Federación, 28 de enero de 1988.

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. Consulta de las normales climatológicas del Municipio de Lagos de Moreno, Estado de Jalisco. CNA, Observatorio Tacubaya, CDMX

TAMAYO L. J., 1985 Geografía Moderna de México, Ed. Trillas, 9a edición, México.

The Application of the Mond FIRE, Explosion & Toxicity Index to Plant Layout and Spacing Distances. Paper for presentation at the AIChE Loss Prevention Symposium, Texas on April 1-5, 1979, Lewis, D.J.

WARK K. y. WARNER, C. 1990, Contaminación del aire. Origen y Control, 1ª Edición, editorial Limusa. 650 p.

Páginas de Internet:

Agencia de Seguridad, Energía y Ambiente ASEA <https://www.gob.mx/asea>

PEMEX Gas y Petroquímica Básica: www.gas.pemex.com.mx

Instituto Mexicano de Petróleo: www.imp.gob.mx

Instituto Nacional de Geografía, Estadística e Informática: www.inegi.gob.mx

Secretaría de Energía: www.energia.gob.mx

Secretaría de Economía: www.economia.gob.mx

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales: www.semarnat.gob.mx

Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas: <http://www.conanp.gob.mx/anp>

Comisión Nacional del Agua: www.cna.gob.mx

Servicio Meteorológico Nacional: <http://smn.cna.gob.mx>

Normales Climatológicas del Estado de Jalisco
<http://smn.cna.gob.mx/es/climatologia/informacion-climatologica>

INEGI: <http://www.inegi.org.mx/>

Anuario Estadístico INEGI Jalisco: <http://www3.inegi.org.mx/sistemas/productos/>

Portal del Estado de Jalisco <http://www.jalisco.gob.mx/>

Climatología Estado de Jalisco- Enciclopedia de los Municipios
<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM14jalisco/index.html>

INEGI Climatología Jalisco:
<http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/jal/default.aspx?tema=me&e=14>

Enciclopedia de los Municipios,
<http://siglo.inafed.gob.mx/enciclopedia/EMM14jalisco/index.html>

Programa Estatal de Desarrollo Jalisco
<http://sepaf.jalisco.gob.mx/gestion-estrategica/planeacion/ped-2013-2033>