

5177



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

12es.

DIVISIÓN DE POSGRADO

EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL ASOCIADO AL MANEJO INDUSTRIAL DE GAS L.P.



TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
ESPECIALISTA EN SALUD EN

EL TRABAJO Y SU IMPACTO AMBIENTAL

P R E S E N T A:

IRENE CASTILLO CHAIRES

DIRECTOR DE TESIS

M. en C. MIGUEL CASTILLO GONZÁLEZ.



LO HUMANO
EJE
DE NUESTRA REFLEXIÓN

MÉXICO, D. F.

MAYO, 1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

264973



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.

DEDICATORIAS

A Dios, que me quiere tanto.

A mis padres:

Silvestre y Fidela

Respondiendo aunque sea un poquito a sus esfuerzos y preocupaciones, pero sobre todo a su ejemplo.

A mis hermanos:

Tere, Luis, Felipe, Eduardo, Guadalupe, Antonio, Ricardo y Gabriela; mis compañeros de toda la vida, gracias por su cariño.

A mis sobrinos:

Luis, Victor, Daniel, Erika, Delia, Iliana, Dolores, Fabiola, Alejandra y Antonio, los amores de mi vida.

A Emma, Alma y Martha

Quienes son una parte muy importante de mi familia a quienes quiero y respeto sinceramente.

A Miguel, Maricela y Lourdes

Los amigos incondicionales, por la atención y tiempo dedicados no solo a este trabajo sino a mi persona, a lo que solo puedo corresponder con cariño y apoyo incondicional.

A mis amigos y compañeros.

RECONOCIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México que una vez más me ha brindado la oportunidad de crecer como profesionalista y ser humano.

Al Laboratorio de Investigación y Desarrollo Tecnológico de donde he obtenido todo el apoyo para terminar el presente trabajo.

Al M. en C. Miguel Castillo González, por sus horas de descanso dedicadas a planear, revisar y corregir este trabajo, que en realidad es más suyo que mío.

A la Biól. Maricela Arteaga Mejía y M. en C. Lourdes Castillo Granada, por sus consejos, observaciones y dedicación, gracias.

Al M. en C. Edmundo Ducoing Chahó y Biól. Alberto Mendez Mendez, quienes se tomaron el tiempo para revisar el presente trabajo, gracias.

INDICE

RESUMEN.

1. INTRODUCCIÓN.	1
1.1. Justificación.	3
1.2. Objetivos.	5
2. ANTECEDENTES.	6
2.1. Causas de riesgo en el manejo de sustancias peligrosas.	13
3. MARCO JURÍDICO DE LOS ESTUDIOS DE RIESGO AMBIENTAL.	16
3.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.	16
3.2. Distribución de Competencias y Marco Jurídico	18
3.3. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.	24
3.4. Listado de Actividades Altamente Riesgosas.	25
3.5. Ley General de Salud.	26
3.6. Ley Federal del Trabajo.	26
3.7. Convenios internacionales.	27
4. METODOLOGÍA.	28
5. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.	31
5.1. Procedimiento para la identificación del riesgo ambiental.	33
5.2. Técnicas para la Identificación del Riesgo Ambiental.	34
5.2.1. Lista de Verificación (Check-List).	35
5.2.2. Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP).	37
5.3. Matriz de Clasificación de Parámetros.	41

5.4. Selección de la Técnica a utilizar.	43
5.5. Estimación de consecuencias.	45
5.5.1. Modelos de Fugas y Derrames.	46
5.5.2. Modelo del Puff.	47
5.5.3. Modelo de la Radiación térmica.	49
6. EVALUACION DEL RIESGO AMBIENTAL PARA EL MANEJO DEL GAS L.P.	52
6.1. Características del Gas L.P.	52
6.2. Descripción de las instalaciones para el almacenamiento y distribución de Gas L.P.	55
6.3. Medidas de Seguridad en el Manejo de Gas L.P.	67
6.4. Descripción del proceso de Manejo del Gas L.P. (Almacenamiento, Distribución y Transporte).	69
7. IDENTIFICACION Y EVALUACION DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL GAS L.P. (APLICACION DE TECNICAS).	75
7.1. Identificación y Evaluación del Riesgo por el Manejo del Gas L.P.	75
7.1.1 Resultados de la Aplicación del Método Check List.	76
7.1.2. Aplicación del método HAZOP.	81
7.2. Simulación de Escenarios: Fuga, Incendio y Explosión.	97
7.2.1. Descripción del Índice DOW para fuego y explosión.	97
8. CONCLUSIONES.	107
9. RECOMENDACIONES.	110
10. BIBLIOGRAFIA.	113

RESUMEN.

La producción y el uso cada vez más intenso de sustancias químicas ha generado un gran número de accidentes y efectos nocivos a la naturaleza debido a la falta de conocimiento acerca de las consecuencias del manejo inadecuado en el proceso, almacenamiento o transporte.

En México, han ocurrido una serie de eventos relacionados con sustancias riesgosas, los cuales han originado costosas pérdidas humanas y materiales, de los que aproximadamente el 27% de estos eventos están relacionados con el uso, manejo y almacenamiento del Gas L.P., en el Distrito Federal.

En el presente trabajo se evaluaron, utilizando las técnicas de Identificación de Riesgos Check List y HAZOP, los principales eventos de riesgo y las fallas más frecuentes en una planta de almacenamiento de Gas L.P. son las siguientes:

- * Fuga por rotura de llenadera en muelle de llenado de cilindros portátiles, con un radio de afectación de 10 metros.
- * Fuga por venteo en válvulas de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores, cuyo radio de afectación tiene un intervalo de 31 a 40 metros.
- * Fuga por rotura de manguera de descarga de autotanque, con un radio de afectación de 20 metros.
- * Incendio de masa de gas fugada en manguera de descarga de autotanque, afectando un área comprendida entre 14.42 y 25.12.
- * Fuga por venteo de válvula de seguridad en tanques de almacenamiento, cuyo radio de afectación es de 33 metros.

Posteriormente aplicando el Índice DOW de Fuego y Explosión se establecieron los escenarios catastróficos obteniendo los radios de afectación máximos calculados para cada uno de los eventos son de 9.3 metros.

La probabilidad de que ocurra un evento no deseado en la planta de Gas es remota gracias a que cuenta con los dispositivos de seguridad marcados en las normas correspondientes, las cuales se han actualizado y adaptado a las condiciones de operación en el País.

Finalmente considerando la operación, procedimientos y medidas de seguridad empleados en la misma, se determino que un riesgo no deseado se puede mitigar principalmente por recomendaciones de ingeniería, capacitación, organización y *vigilancia*, mientras que hacia los centros de población se deben de establecer y respetar zonas de amortiguamiento perfectamente delimitadas .

1. INTRODUCCIÓN.

Actualmente todas las sociedades muestran una creciente preocupación hacia la compleja problemática ambiental generada por diferentes factores, como son la seguridad pública, ocupacional, aprovechamiento inadecuado de recursos naturales y por supuesto el factor económico; esta situación, ha favorecido la realización de esfuerzos para enfrentarla, desde la evaluación de los efectos en la salud del trabajador por contaminantes presentes en su lugar de trabajo hasta los efectos planetarios, como el adelgazamiento de la capa de ozono y el efecto invernadero, pasando por un sinnúmero de efectos locales y regionales.

Un factor importante del deterioro del ambiente es el uso de sustancias químicas, por sus características (inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, etc.), además representan un alto riesgo también para la salud humana y bienes económicos; considerando, que la industrialización del país y la utilización de esas sustancias han tenido lugar de manera creciente y acelerada en un período de alrededor de cincuenta años, sin haber realizado los estudios relacionados con los riesgos que representan ni se prepararon cuadros de profesionistas para detectarlos, prevenirlos y controlarlos (SEMARNAP-INE, 1997).

La información disponible sobre la frecuencia de accidentes causados por materiales peligrosos es insuficiente. La exposición a un creciente número de materiales peligrosos que presentan riesgos para la salud y el ambiente es motivo de profunda preocupación y recibe más atención de las organizaciones internacionales, actualmente se han tomado algunas de las medidas como el establecimiento de Sistemas Nacionales de Prevención de Desastres y respuesta a estos así como la creación y operación de Centros de Respuesta a Emergencias causadas por sustancias químicas.

Lo anterior plantea la necesidad de fortalecer la capacidad nacional de realizar los ajustes ya sea cambiando o reestructurando los programas y organismos encargados de evaluar riesgos de las sustancias peligrosas y prevenir y controlar, a través de diferentes alternativas, los posibles riesgos, incluyendo las

herramientas de carácter tecnológico en las cuales también el país es dependiente de las tecnologías importadas, y de los servicios de expertos extranjeros para instalarlas y operarlas (SEMARNAP, INE, 1997).

Al plantear cualquier tipo de proyecto en el cual se manejará o producirá una sustancia cuyas propiedades, se consideran como potencialmente peligrosas para la salud humana y el ambiente, es necesario realizar un estudio de Riesgo con el cual se puedan predecir los daños potenciales, en el caso de que ocurra una situación fuera de control bajo condiciones normales de operación.

Hasta hace pocos años se le daba una importancia casi nula a todo lo que se refiere a seguridad industrial, debido a que no se tenía conciencia de la magnitud de sus repercusiones en todos los aspectos (social, económico y ecológico). Ahora bien, al contar con el antecedente de un sinnúmero de accidentes, como son fugas, incendios y explosiones provocados por diferentes sustancias que provocaron muertes, lesiones y pérdidas económicas, se han firmado convenios internacionales encaminados a la protección y mejoramiento ambiental, pero considerando los factores políticos, económicos y tecnológicos que permitan el desarrollo de las poblaciones humanas en equilibrio constante con la naturaleza, lo cual exige una producción a un costo mínimo en todos los aspectos.

1.1. Justificación.

En este sentido, resulta impostergable y necesario impulsar el diseño de procedimientos que permitan la realización de actividades o el manejo de sustancias clasificadas como altamente riesgosas, con una mínima probabilidad de ocasionar daños a la salud o al ambiente y reducir o eliminar las pérdidas económicas cuando se trata de nuevos proyectos. Los estudios de riesgo ambiental son un instrumento de carácter preventivo, vinculados al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, cuando se trata de nuevos proyectos.

Sin embargo, el estudio de riesgo se requiere en aquellas actividades que manejan materiales y operan procesos peligrosos, con objeto de identificar el potencial de afectación a la población, a las propiedades y al ambiente, ya sea por su operación normal o en caso de accidente. Los estudios de riesgo ambiental incluyen la identificación de riesgos en actividades industriales así como medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas ante contingencias como pueden ser explosiones, incendios, fugas o derrames. En el marco de la evaluación de los estudios de riesgo, se piden, en los casos que así lo ameritan, la presentación de programas para la prevención de accidentes (SEMARNAP, 1997).

El Gas L.P. es una sustancia incluida en el Primer Listado de Sustancias Tóxicas (Diario Oficial, 1990) y en el Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas (Diario Oficial, 1992) es necesario apegarse a los procedimientos de Estudios de Riesgo para cualquier actividad que involucre su manejo.

En el presente trabajo se define Riesgo Ambiental como "la probabilidad combinada de un evento no deseado que pueda afectar al ambiente, la población y sus propiedades, derivado de fenómenos naturales o de las actividades humanas, con la gravedad de sus consecuencias potenciales" (Dewolf, 1993); en este sentido y para poder evaluar un riesgo potencial, se debe realizar un Estudio de Riesgo que "es un documento mediante el cual se da a conocer, a partir del análisis de acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad, los riesgos que dichas obras o actividad representan para el equilibrio ecológico o el

ambiente, así como la medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas, tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución u operación normal de la obra o actividad de que se trate" (LGEEPA, 1997).

Bajo estos conceptos el presente trabajo intenta contribuir al enriquecimiento de esta área de estudio en la que aún existen muchos aspectos por analizar, se maneja un marco general de la Normatividad dado que es un aspecto indispensable como herramienta de apoyo en este campo, y los aspectos más relevantes a considerar en los Estudios de Riesgo asociado a las diferentes etapas del manejo del Gas L.P., los procedimientos inseguros y carencias susceptibles de corrección.

1.2. Objetivos

Objetivo General.

Identificar y evaluar el riesgo potencial durante las actividades de recepción, transporte, almacenamiento y comercialización del Gas L.P., utilizando como herramienta el Análisis de Riesgo, en función del conocimiento y estimación de las consecuencias de los riesgos Ambientales asociados a su manejo.

Objetivos particulares.

- Definir los aspectos más importantes a considerar para un Estudio de Riesgo.
- Aplicar las técnicas apropiadas del Análisis de Riesgo sobre todo el conjunto de actividades que involucren el manejo del Gas L.P.
- Determinar las técnicas más adecuadas para evaluar el manejo del Gas L.P., a fin de minimizar o eliminar los riesgos presentes en esta actividad.
- Estimar los efectos potenciales de los riesgos ambientales y conocer los radios de afectación por los puntos riesgosos identificados.
- Emitir sugerencias con base en los resultados obtenidos y al análisis de la Normatividad vigente en aspectos jurídicos, administrativos y técnicos que resulten del presente trabajo.

2. ANTECEDENTES.

Las factores y causas asociados a la ocurrencia de eventos riesgosos más frecuentes registradas hasta el momento son:

- ⇒ Explosiones en plantas industriales y depósitos de combustible, que pueden causar lesiones y muerte en forma directa o por incendios y ondas de choque.
- ⇒ Escapes de sustancias tóxicas de plantas industriales o de depósitos de almacenamiento, los que producen en poco tiempo un alto nivel de contaminación del aire o del agua, favoreciendo condiciones riesgosas para la población. Estas liberaciones también pueden ser causadas por explosiones.
- ⇒ Escapes de productos radioactivos de plantas generadoras de energía nuclear o de instalaciones que usan sustancias radioactivas. Los efectos potenciales en la salud por causa de estos accidentes son muy altos.
- ⇒ La improvisación del personal que se emplea para las diferentes operaciones que se realizan en instalaciones de Gas L.P., principalmente en el manejo de cilindros incluyendo su reparto.

Es un requerimiento fundamental realizar un inventario de las sustancias químicas a ser usadas en la planta que permite la identificación de posibles riesgos a la salud y al ambiente. El inventario debe incluir las clases de productos químicos indicados en el cuadro siguiente:

Cuadro 1. Sustancias químicas involucradas en actividades industriales.

TIPOS	CARACTERÍSTICAS	MANEJO
Usados como insumos	Peligrosidad	Cantidad
Usados en el proceso	Toxicidad	Ubicación
Contenidos como impurezas	Comportamiento en el ambiente	Almacenamiento
Producidos por el proceso	Trayectorias hacia el hombre	Transporte
Producidos por accidente		Fabricación
		Usos

Fuente: Weitzenfeld, 1996.

2. Antecedentes.

A nivel mundial existen múltiples ejemplos de accidentes ocurridos por la liberación, escape, explosión o incendio relacionado con alguna sustancia peligrosa, destacando los más recordados por sus graves afectaciones:

LUGAR	EVENTO	CONSECUENCIAS
Flixborough, Reino Unido, 1974.	Explosión de nube de vapor de ciclohexano.	28 muertos y 89 heridos, \$232,000,000.00 por daños a inmuebles.
Seveso, Italia, 1976.	Escapes de dioxinas.	30 personas heridas y 220,000 tuvieron que ser evacuadas, además se contaminaron los campos aledaños.
Mississauga, Ontario, 1978.	L.P.G., BLEVES	
San Juan Ixhuatepec, México, D.F., 1984.	LPG, BLEVES.	Más de 650 muertes y varios miles de heridos, \$20,000,000 en daños a inmuebles.
Bhopal, India, 1984.	Fuga de isocianato de metilo.	Más de 2,800 muertos, 200,000 afectados.
Sandoz, Alemania Occidental, 1986.	Incendios en almacenes derrames de pesticidas.	Graves efectos al Río Rhin.
Italia, 1987.	Incendio de metano.	Causo la muerte de cuatro personas y varios heridos.
Bulgaria, 1986.	Explosión de cloruro de vinilo.	Provoco la muerte de 17 personas y 19 heridos
Estados Unidos, 1986.	Escape de cloro.	Lesiones a 76 personas.
Ortuella, España, 1980.	Explosión de gas propano.	Provocó 51 muertes y numerosos heridos.

Fuente: Convenio de Cooperación México Canadá, 1994 y OIT, 1990.

En México, han ocurrido una serie de accidentes relacionados con sustancias riesgosas, de los cuales se han derivado incuantificables pérdidas humanas y materiales, aproximadamente el 27% de estos eventos están relacionados con el uso, manejo y almacenamiento del Gas L.P., en el Distrito Federal. Las sustancias con mayor número de accidentes en México se muestran en el cuadro 2.

Cuadro 2. Sustancias involucradas al mayor número de accidentes en México.

SUSTANCIA	No. DE ACCIDENTES
Gas L.P.	67
Gasolina	49
Amoniaco	31
Combustoleo	28
Cloro y Compuestos.	22
Diesel	13
Solventes	9
Ácido Sulfúrico	9
Petróleo Crudo	8
Hidróxido de Sodio	6

Fuente: SINAPROC-CENAPRED, 1994.

Los accidentes relacionados con Gas L.P. en México tienen una alta frecuencia, a pesar de la existencia de numerosas Normas Oficiales Mexicanas, que precisan los requerimientos para construcción, operación, transporte, equipo de seguridad y procedimientos para su manejo. A continuación se menciona un listado de dichos accidentes:

- Fuga de Gas L.P., en un depósito de la fábrica Anderson Clayton, Col. Industrial Vallejo, 1990.
- Fuga de Gas L.P. con dos explosiones en la Ensambladora General Motors, Delegación Miguel Hidalgo, 1990.
- Fuga de Gas L.P. de una pipa de la compañía "Unigas", por falla en la conexión de la manguera al surtir el producto, 1990.
- Fuga de Gas L.P. en una pipa distribidora, por avería de una de las válvulas, en San Ángel Inn, 1991.
- Fuga de Gas L.P. al volcarse una pipa que transportaba 12,500 litros propiedad de "Gasomático" por exceso de velocidad, 1992.
- Fuga de Gas L.P. de una pipa, 1992.
- Fuga de Gas L.P. en el interior de un microbús, 1993.

2. Antecedentes.

- ⁵ Acumulación de Gas L.P. en la lumbrera No. 4 del Drenaje Profundo, 1993.
- ⁶ Tanque de Gas L.P., originando el derrumbe parcial de un edificio, 1993.
- ⁷ Choque de un autotanque con el ferrocarril en la Av. Central, Ecatepec, México, 1997
- ⁸ Incendio en una pipa repartidora de Gas L.P. en Av. Periférico Sur, 1998.
- ⁹ Incendio en un planta de almacenamiento de Gas L.P., en el D.F., 1998.

Algunos riesgos caen dentro de distintas categorías, por ejemplo, la liberación accidental de un compuesto químico peligroso puede ser analizada desde diferentes puntos de vista, como es la salud humana o la afectación al ambiente. Las liberaciones pequeñas y limitadas pueden afectar la salud de un solo trabajador teniendo un efecto insignificante en el ambiente. La mayoría de los análisis de riesgo desarrollados actualmente por la industria están encaminados hacia los riesgos de salud y seguridad humana, así mismo el Análisis de Riesgo Ambiental se ha vuelto cada vez más común (Dewolf, 1993).

En este sentido es necesario destacar que los profesionistas que realizan cualquier investigación de situaciones potencialmente riesgosas que pudieran existir en una industria, deben identificar y delimitar perfectamente el tipo de riesgo al que se enfrenta y cual es el objetivo que se persigue al detectarlos, algunas repercusiones de importancia son las siguientes:

- * Seguridad/Salud Pública.
- * Seguridad/Salud Ocupacional.
- * Daños al Ambiente.
- * Financiero (Corporativo/Social).

Ahora bien dentro de la información que se requiere para la identificación, evaluación y estimación de los eventos riesgosos, se debe contar con el conocimiento de los siguientes elementos:

Tipos de instalaciones industriales peligrosas.

Los productos químicos peligrosos se encuentran en instalaciones permanentes, pertenecientes a la industria química, farmacéutica, petroquímicas, textil, alimenticias y los medios de transporte, aunado al hecho de considerar que la mayoría de la industria requiere el abastecimiento constante de combustible.

a) Instalaciones Fijas. La mayoría de las instalaciones industriales tienen algunos productos químicos peligrosos aún en pequeñas cantidades, los cuales, arriba de cierta concentración el riesgo potencial se vuelve de consideración. Por tanto es necesario que estas instalaciones cuenten con manuales que incluyan:

- * Descripción de situaciones de emergencia y un plan para actuar de inmediato.
- * Inventarios de productos químicos peligrosos (hojas de seguridad).
- * Propiedades y volumen de manejo y almacenamiento por unidad de tiempo.

b) Transporte. Los accidentes de trenes y vehículos en carretera donde estuvieron involucrados productos químicos, tóxicos y explosivos han creado la necesidad de establecer medidas de prevención y acción (Weitzenfeld, 1996). En el país se movilizan grandes cantidades de sustancias peligrosas en una gran variedad de medios de transporte, incluyendo tuberías, trenes, trailers, barcos y pipas. La reducción de riesgos en el transporte requiere la siguiente información:

- * Vías de transporte (tren y carreteras, puertos marítimos de entrada y salida) localización de las tuberías, a través o cerca de asentamientos humanos.
- * Métodos de embarque (aéreo, barcos, tren, autostanque, automóviles, camionetas y tuberías).
- * Frecuencia de embarque (diario, semanal o irregular).
- * Cantidad y tipo de contenedores de los productos químicos embarcados (tambores, pipas, carros de tren, autostanque, etc.).

Clasificación de Sustancias Químicas Peligrosas.

El contar con la *Clasificación* facilita el acceso a la información que permitan establecer planes y programas de manejo de Sustancias Químicas Peligrosas más eficientes durante todo su ciclo de vida, permitiendo reducir la probabilidad de ocurrencia de un accidente; a continuación se presenta una clasificación y los aspectos más importantes a considerar sobre estos productos:

a) Productos tóxicos. El peligro causado por los productos químicos tóxicos necesariamente depende de la dosis de la exposición (definida como la concentración de dicha sustancia en el aire contra la duración de la exposición) que experimenta la población afectada. Se han realizado muchas discusiones sobre los niveles de exposición en los términos de Niveles de Preocupación (Levels of Concern, LOC), los que se definen como la mínima concentración de una sustancia peligrosa en el aire sobre la cual una persona puede experimentar efectos a la salud serios e irreversibles, incluso la muerte cuando la exposición ha sido por un período de tiempo corto.

No existe una medida precisa de estos niveles para productos químicos peligrosos, por lo que se usan criterios diferentes para medirlos, donde los métodos y expresiones más comunes para fugas accidentales son los siguientes:

<u>ÍNDICE</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
STEL	Short Term Exposure Limit (Limite de Exposición de Corto Plazo)	Esta es la concentración máxima de un químico a la que un trabajador sano puede estar expuesto por arriba de 15 minutos en un día normal de trabajo de 8 horas de una semana hábil de 40 horas. Están permitidas cuatro exposiciones por día, siempre y cuando los índices PEL y TWA no sean excedidos.
PEL	Permissible Exposure Limit (Limite Permissible de Exposición).	Este límite determinado por la Agencia de Administración de la Seguridad Ocupacional y la Salud (OSHA) es la máxima concentración de productos químicos en el aire legalmente permitido al que un trabajador sano puede estar expuesto durante un periodo de 8 horas (concentración promedio TWA).

<u>ÍNDICE</u>	<u>DESCRIPCIÓN</u>	<u>SIGNIFICADO</u>
IDLH	Immediately Dangerous to Life and Health (Peligro Inmediato a la Vida y la Salud).	Concentración máxima de la sustancia (en ppm) a la cuál una persona sufre daño irreversible a la salud, si se expone por un período mayor a 30 min. sin equipo de protección
LC50	Concentración Letal Media	La concentración de Productos químicos en el aire, en el cual 50% de los animales de prueba mueren en un lapso de 8 horas.
DL50	Dosis Letal Media	La dosis de producto químico aplicada oral o cutáneamente, en la cual el 50% de los animales de prueba mueren en un lapso de 8 horas.
LCLO	Concentración Letal Baja	La concentración más baja de productos químicos en el aire, en la cual algunos de los animales de prueba mueren en un lapso de 8 horas.

b) Productos Químicos Inflamables, Explosivos y Reactivos:

Inflamabilidad. Los materiales inflamables son aquellos con bajos puntos de ignición, que se encienden relativamente a bajas temperaturas. Los tipos de fuego pueden incluir "flamazos" (gases Inflamables que son descargados a gran velocidad y forman flamas arriba de 30 m de largo, provocando una Explosión de Líquidos en Ebullición y Vapor Expandido ("BLEVES") provocadas por la excesiva presión en la parte más débil del contenedor, nubes de fuego de vapor o polvo, fuego en contenedores de líquidos y fuego en sólidos inflamables.

Explosividad. Es la capacidad de un químico de reaccionar lo suficientemente rápido con él mismo o con otros materiales incluyendo el oxígeno del aire, donde la explosión puede tener como origen una nube de vapor o de polvo. Esto también incluye a los gases inflamables que están en una nube de vapor dentro de sus límites inferior y superior de explosividad.

Reactividad. Los productos químicos reactivos pueden explotar o reaccionar exotérmicamente entre sí o con otros productos, generando suficiente calor o presión para que resulte una emisión de calor o sobrepresión de un contenedor.

c) Cantidades, Localización y Propiedades físicas de los productos químicos. Esta información es importante para graduar el riesgo relativo y especificar el escenario probable. Para determinar las cantidades de las sustancias peligrosas, se deben considerar tanto las cantidades máximas en almacenamiento y las que se encuentran en cualquier contenedor durante el proceso, incluyendo las tuberías. La localización debe incluir todas las áreas de almacenamiento, áreas de proceso y rutas de transporte.

Los acontecimientos más comunes como incendios, explosiones y derrames, pueden dar origen a eventos tales como:

- ✓ Nubes de gas tóxico.
- ✓ Incendios: chorros de fuego (jet fire), pozos de fuego, bolas de fuego (fire ball).
- ✓ Explosiones (BLEVES, Explosiones Químicas, etc.).
- ✓ Derrames de líquidos o sólidos (polvos) peligrosos.

2.1. Causas de riesgo en el manejo de sustancias peligrosas.

Las causas que originan los riesgos en el manejo de las sustancias peligrosas, pueden variar de acuerdo con las condiciones y contextos particulares existentes en cada una de las fases de su ciclo de vida. A continuación se resumen en los cuadros 3, 4 y 5 algunas de las causas más importantes de los riesgos durante la producción, almacenamiento y uso; sin embargo, cabe mencionar que existen algunos denominadores comunes de causas de riesgos, como los asociados al pobre desempeño gerencial en las empresas, derivado de la falta de conocimiento de la peligrosidad de las sustancias que se manejan en sus procesos, carencia de programas de capacitación de los trabajadores y para la prevención de riesgos y respuesta a emergencias.

De igual forma destacan aquellos factores que se derivan de la falta de señalamientos de seguridad, ausencia de un etiquetado adecuado de los

productos químicos o de la falta de acceso o consulta de las hojas de seguridad, es decir hay un desconocimiento de la Normatividad emitida al respecto. Otras causas de riesgo que están asociadas son el empleo de procesos de producción obsoletos, equipos con pobre mantenimiento, carencia de tecnologías de control de emisiones para descargas de sustancias tóxicas, equipos de monitoreo y protección, entre otros.

Cuadro 3. Causas de los riesgos en la producción.

Causa	Origen de la falla	Indicadores
Falta de conocimientos y buenas prácticas gerenciales.	Procesos obsoletos y contaminantes	Carencia de monitoreo de emisiones y evaluación de efectos ambientales.
Carencia de incentivos para promover un comportamiento responsable.	Pobre mantenimiento de los equipos.	Carencia de monitoreo de exposición y vigilancia médica de los trabajadores.
Deficiente capacitación de los trabajadores.	Inexistencia de equipos de control de emisiones, tratamiento de aguas residuales y combate de incendios.	
Ausencia de programas de comunicación y prevención de riesgos.		Falta de cumplimiento de Normatividad.
Incumplimiento de la Normatividad para la protección de los trabajadores y la prevención de la contaminación ambiental.		
Ignorancia de los impactos sobre las comunidades vecinas.		

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

En el siguiente cuadro se resumen las principales causas de accidentes en la etapa de almacenamiento así como el área específica o el equipo en el cual es más frecuente una falla; asimismo se indican los programas que evitarían o minimizarían la ocurrencia de dichos accidentes.

**Cuadro 4. Causas de los riesgos en el almacenamiento
de Sustancias Peligrosas**

Causa	Origen de la falla	Indicadores
Ignorancia de las propiedades químicas y de peligrosidad de las sustancias del personal que la maneja.	Instalaciones, contenedores y envases inadecuados o en mal estado.	Carencia de monitoreo de emisiones y fugas.
Falta de etiquetado con señalamientos de su peligrosidad y forma de prevenir riesgos.	Carencia de equipo y dispositivos para hacer frente a emergencias.	Carencia de monitoreo de exposición y vigilancia médica de los trabajadores.
Falta de capacitación de los trabajadores.		
Almacenamiento incompatible de sustancias en un mismo lugar.		

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

Otra etapa del manejo de Gas L.P. es la utilización ya sea doméstica o industrial durante la cual son indispensables ciertos procedimientos e instalaciones para prevenir la eventual ocurrencia de un accidente; a continuación se señalan las principales causas de estos eventos.

Cuadro 5. Causas de los riesgos relacionados con su uso.

Causa	Origen de la falla	Indicadores
Ignorancia de la peligrosidad de las sustancias y de como reducir sus riesgos.	Carencia de equipos y dispositivos de protección durante su aplicación o utilización en caso de emergencia.	Carencia de monitoreo de emisiones e impactos ambientales.
Falta de capacitación de los trabajadores y consumidores.	Inexistencia de equipos o tecnologías para el control de emisiones, tratamiento de aguas residuales y manejo ambiental adecuado de residuos químicos.	Carencia de monitoreo de exposición y vigilancia médica de los trabajadores.
Almacenamiento de sustancias incompatibles en un mismo lugar.	Envases y etiquetado inadecuado.	

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

3. MARCO JURÍDICO DE LOS ESTUDIOS DE RIESGO AMBIENTAL.

Las políticas de reglamentaciones y procedimientos de gestión ambiental se establecen en función de la identificación de riesgos excesivos o inaceptables de acuerdo al criterio de cada país según sus recursos para el control y manejo seguro de las sustancias químicas de alto riesgo (SEMARNAP, INE, 1994).

De esta forma existen distintas disposiciones jurídicas que permiten enmarcar la necesidad de abordar la problemática de los riesgos que se presentan en el desarrollo de las distintas actividades del Sector Productivo o de Servicios, desde el Marco Constitucional hasta las implicaciones en el desempeño de las Autoridades Locales, como Municipios o el Distrito Federal.

3.1. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

La obligatoriedad del estudio de actividades que involucran la utilización de sustancias riesgosas dentro del contexto legal, tiene como base a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, promulgada el 5 de febrero de 1917 y de la cual se derivan los artículos referentes a la protección a la salud y al ambiente, de tal forma que en su Art. 4o se incorporo el "derecho de toda persona a la protección de la salud" como parte de las modificaciones que entraron en vigor en 1993, lo cual permitió introducir la idea de la protección de la salud humana en relación con los efectos adversos del ambiente.

Dentro de los artículos relacionados con la protección del ambiente y por lo tanto las bases jurídicas para su análisis, destaca el Art. 25, que señala que "bajo criterios de equidad social y productividad se apoyará e impulsará a las empresas de los sectores social y privado de la economía, sujetándolos a las modalidades que dicte el interés público y al uso en beneficio general, de los recursos productivos, cuidando su conservación y el medio ambiente" (introducido en las modificaciones realizadas 1982, e incluido como una importante reforma a la Constitución en 1993).

3. Marco Jurídico de los Estudios de Riesgo Ambiental.

De igual forma el Art. 27, Párrafo tercero consigna el hecho de que la Nación debe dictar las medidas necesarias para aprovechar y conservar los elementos naturales regulando, ordenando y planeando, el mejoramiento y crecimiento de los centros de población, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico".

En el Art. 73 Constitucional, fracción XVI, menciona que el Consejo de Salubridad General tendrá las atribuciones para "poner en vigor o adoptar campañas para prevenir y combatir la contaminación ambiental" (reformado en 1987).

En el Art. 123, fracciones XIII, XIV y XV, establece que "las empresas, están obligadas a proporcionar a sus trabajadores, capacitación o adiestramiento para el trabajo" y "los empresarios serán responsables de los accidentes del trabajo y enfermedades profesionales de los trabajadores, sufridas con motivo o en ejercicio de la profesión o trabajo que ejecuten"; y "está obligado a observar los preceptos legales sobre higiene y seguridad en las instalaciones de sus establecimiento y adoptar las medidas adecuadas para prevenir accidentes".

Por otra parte, los Estudios de Riesgo se enmarcan dentro de la Normatividad vigente de la SEMARNAP, a través de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente, (LGEEPA) emitida en 1988 y modificada en 1996, donde se establece la necesidad de llevarlos a cabo para aquellos proyectos que realicen actividades consideradas como de Alto Riesgo, de acuerdo a los dos Listados de Actividades Altamente Riesgosas publicados el 28 de Marzo de 1990 y el 4 de Mayo de 1992, involucrando la responsabilidad social del empresario, para garantizar a la población, aquellos mecanismos tendientes a lograr el desarrollo socioeconómico y el de ofrecer ambientes seguros para lograr una vida individual y colectiva segura, cumpliendo con la Normatividad y estableciendo las bases para realizar el Programa de Prevención de Accidentes (PPA), para el manejo de sustancias incluidas en los listados.

3.2. Distribución de Competencias y Marco Jurídico.

La gestión de las sustancias peligrosas, involucra a diferentes dependencias del gobierno, además de la SEMARNAP, de acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal (LOAPF), que otorga atribuciones a las diferentes dependencias de Gobierno, corresponde a la SEMARNAP de acuerdo con el artículo 32, fracciones XXIII, XXIV, XXV y XXVI; conducir la política de saneamiento ambiental, establecer normas y criterios ecológicos y ejecutar acciones y situaciones de contingencia y emergencia ambiental.

El cuadro siguiente muestra las atribuciones que establece la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal de todas las dependencias del Ejecutivo para la gestión y regulación de los materiales riesgosos:

Cuadro 6. Atribuciones de las Secretarías para la gestión y regulación de materiales riesgosos, de acuerdo con la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal.

Art.	Fracción	Secretaría	Disposiciones
3	VII	Energía, Minas e Industria Paraestatal.	Regular la industria petrolera, petroquímica básica, minera, eléctrica y nuclear.
27	XXXII	Gobernación	Coordinar actividades de prevención y preparación en caso de desastre.
32	XXIII, XXIV, XXV, XXVI	Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca.	Conducir la política de saneamiento ambiental. Establecer normas y criterios ecológicos. Ejecutar acciones en situaciones de contingencia y emergencia ambiental.
34	XXI	Comercio y Fomento Industrial.	Regular y promover el desarrollo de la industria de transformación y suministro de gas.
35	VI, VII	Desarrollo Agropecuario.	Definir técnicas para mejorar rendimientos, administración y vigilancia sanitaria y producción de fármacos de uso animal.
36	IX	Comunicaciones y Transportes.	Otorgar concesiones y permisos, además de reglamentar el transporte de residuos peligrosos.
39	I, X, XII, XIII, XVII, XXI	Salud.	Establecer y dirigir la política sanitaria, para preservar la salud humana. Proteger la salud de los trabajadores.
40	XI	Trabajo y Previsión Social.	Ordenar medidas de seguridad e higiene industrial.
		Defensa Nacional.	Regular y controlar sustancias explosivas. Auxiliar a la población en caso de desastre.

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

3. Marco Jurídico de los Estudios de Riesgo Ambiental.

En el siguiente cuadro se describe la forma en que se distribuyen las competencias y atribuciones de la SEMARNAP en la materia:

Cuadro 7. Competencia de la SEMARNAP (Art. 5 LGEEPA y 32 bis LOAPF).

- Fomentar la protección, restauración y conservación de ecosistemas y recursos naturales.
- Vigilar y estimular el cumplimiento de las leyes, normas oficiales mexicanas y programas de su competencia e imponer las sanciones procedentes.
- Fomentar la aplicación de tecnologías, equipos y procesos que reduzcan las emisiones y descargas contaminantes provenientes de cualquier tipo de fuente.
- Regular y controlar la generación, manejo y disposición final de materiales y residuos peligrosos para el ambiente.
- Regular las actividades relacionadas con la exploración, explotación y beneficios de minerales, sustancias y demás recursos del subsuelo.
- Regular y controlar las actividades consideradas como altamente riesgosas.

A su vez la SEMARNAP se divide en 2 organismos encargados uno de emitir la Normatividad en materia ambiental y el otro de dar seguimiento y sancionar cuando sea necesario; a continuación se detallan sus atribuciones de acuerdo a los establecido en los Artículos 54 y 62 del Reglamento Interior SEMARNAP.

<p style="text-align: center;">Instituto Nacional de Ecología.</p> <ul style="list-style-type: none">• Formular, conducir y evaluar la política ambiental y protección del ambiente.• Formular y conducir la política en materia de residuos peligrosos y riesgo ambiental.• Otorgar permisos, concesiones, autorizaciones, licencias, dictámenes, resoluciones, constancias y registros de su competencia.• Elaborar, promover y difundir tecnologías sobre la calidad ambiental de los procesos productivos.
<p style="text-align: center;">Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none">• Vigilar el cumplimiento de la Ley.• Imponer medidas técnicas, de seguridad y sanciones.• Emitir resoluciones, recomendaciones y dictámenes técnicos.• Realizar auditorías y peritajes ambientales de actividades que constituyen un riesgo para el ambiente y de la explotación, almacenamiento, transporte, producción, transformación, comercialización, uso y disposición de desechos y compuestos.• Promover medidas para evitar que residuos, materiales y sustancias tóxicas productos de las plantas de tratamiento contaminen aguas superficiales y el subsuelo. <p style="text-align: center;">(Art. 40 y 42, Reglamento Interior, SEMARNAP)</p>

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

El Artículo 40 de la LOAPF establece las Atribuciones de la Secretaria del Trabajo y Previsión Social (STPS).

Cuadro 8. Atribuciones de la STPS, relativas con actividades riesgosas.

- Vigilar la observación y aplicación de la ley Federal del Trabajo y sus reglamentos.
- Estudiar y ordenar las medidas de seguridad e higiene industriales para la protección de los trabajadores y vigilar su cumplimiento.

En el Artículo 21, Reglamento Interior de la STPS se establecen las atribuciones de los dos organismos en los que se divide la Secretaria.

Dirección General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.	Dirección General de Inspección Federal del Trabajo.
<ul style="list-style-type: none"> • Proponer adecuaciones a la regulación sobre seguridad e higiene. • Promover la mejoría de las condiciones físicas y ambientales en que se desempeña el trabajo. • Promover la organización, registro y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. • Promover en las empresas el desarrollo de los servicios preventivos de seguridad e higiene; proporcionar asesoría y promover la capacitación de los especialistas y técnicos. • Elaborar, organizar, desarrollar y evaluar programas y campañas de seguridad e higiene en el trabajo, mejoramiento del ambiente laboral y prevención de accidentes en el trabajo a nivel local, regional o nacional. • Realizar investigaciones y estudios para adecuar las tablas de enfermedades del trabajo y adecuar o expedir NOM relativas a agentes físicos o químicos. (Artículo 22, Reglamento Interior de la STPS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilar el cumplimiento de las normas de trabajo contenidas en la Constitución, tratados, y acuerdos internacionales, la LFT y sus reglamentos, normas oficiales mexicanas, instructivos, convenios, acuerdos y contratos de trabajo. • Programar, ordenar, y practicar las inspecciones. • Vigilar el funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene. • Señalar los plazos en que deben cumplirse las medidas de seguridad e higiene contenidas en las actas de inspección. • Asesorar a trabajadores y patrones sobre la manera más efectiva de cumplir las normas de trabajo.

Fuente: STPS, 1997.

3. Marco Jurídico de los Estudios de Riesgo Ambiental.

Cuadro 9. Atribuciones de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial en relación al manejo de sustancias químicas de acuerdo a los Arts. 21 y 25 del Reglamento Interior de la SECOFI y el Art. 5 de la Ley de Comercio Exterior.

- Formular y conducir la política general de industria y de comercio exterior.
- Regular y orientar las transferencias de tecnología y la modernización tecnológica.
- Promover y autorizar los registros nacionales de parques y zonas industriales.
- Estudiar, proyectar, establecer y modificar medidas de regulación y restricción no arancelaria a la exportación, importación, circulación y tránsito de mercancías.
- Expedir las disposiciones de carácter administrativo para el cumplimiento de los tratados y convenios internacionales en materia comercial de México.

En los Artículos 36, LOAPF, Arts. 5 y 50 de la Ley de Caminos, Puentes y Autotransporte Federal, se establecen las competencias de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes con respecto al manejo de sustancias Riesgosas.

- Realizar la vigilancia técnica del funcionamiento y operación de los ferrocarriles.
- Planear, formular y conducir las políticas y programas para el desarrollo de los servicios de autotransporte federal y sus servicios auxiliares.
- Regular el autotransporte de materiales, residuos, remanentes y desechos peligrosos que circulen en vías generales de comunicación.

Fuente: SEMARNAP, INE, 1997.

Otros órganos de coordinación (SEMARNAP, INE, 1997), que involucrados en la gestión directa o indirecta de sustancias peligrosas, son los siguientes:

- La Comisión para la Prevención y el Control de la Contaminación Ambiental en la Zona Metropolitana del Valle de México, orientada a la contaminación atmosférica y coordina a los Gobiernos del Distrito Federal y del Estado de México, así como al Instituto Nacional de Ecología.
- El Consejo de Salubridad General, órgano supraseducativo que depende del Presidente de la República, e interviene en la producción y venta de sustancias tóxicas, así como en la prevención de los efectos nocivos de sobre la salud.
- El grupo nacional coordinador del Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC), destinado a integrar dicho registro multimedios, que será esencial para la gestión de sustancias tóxicas de atención prioritaria.

En el cuadro 10 se muestran el conjunto de Dependencias del Ejecutivo Federal y sus atribuciones relacionadas con sustancias riesgosas.

Cuadro 10. Marco Institucional de la Regulación y Control de Sustancias Químicas.

Sustancias/Ciclo de Vida	Sustancias industriales	Sustancias tóxicas	Minerales e Hidrocarburos	Explosivos
Importación y exportación.	SECOFI y SHCP	SEMARNAP, SSA, SECOFI y SHCP	SECOFI y SHCP	SEDENA, SECOFI y SHCP
Registro		SSA	SECOFI	SEDENA
Extracción			SECOFI y SE	
Proceso y uso	SEMARNAP, SSA, SECOFI y STPS	SEMARNAP, SSA y STPS	SE, SECOFI, STPS y SEMARNAP	SEDENA y STPS
Almacenamiento	SCT y STPS	SSA, SCT y STPS	SE, STPS y SCT	SEDENA y STPS
Transporte	SCT y STPS	SCT, SSA y STPS	SE, STPS, SCT y SECOFI	SEDENA, SCT y STPS
Comercialización	SECOFI	SSA y SECOFI	SECOFI	SEDENA
Emisiones al aire	SEMARNAP y SSA	SEMARNAP y SSA	SEMARNAP y SSA	
Descargas al agua	SEMARNAP, SSA y SEDEMAR	SEMARNAP, SSA y SEDEMAR	SEMARNAP, SSA y SEDEMAR	SEDEMAR, SSA y SEMARNAP
Residuos peligrosos	SEMARNAP, SSA, SECOFI y SCT	SEMARNAP, SCT y SSA	SEMARNAP, SSA y SCT	SEMARNAP y SCT
Ambiente laboral	SEMARNAP y SSA	STPS y SSA	STPS y SSA	STPS
Salud ocupacional	SSA y STPS	SSA y STPS	SSA	SSA y STPS
Salud Ambiental	SSA	SSA	SSA	SSA
Saneamiento e impacto ambiental	SEMARNAP	SEMARNAP	SEMARNAP y SE	SEMARNAP

SEMARNAP = Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca; SSA = Secretaría de Salud; SECOFI = Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; SHCP = Secretaría de Hacienda y Crédito Público; SCT = Secretaría de Comunicaciones y Transportes; SEDENA = Secretaría de la Defensa Nacional; SE = Secretaría de Energía; STPS = Secretaría del Trabajo y Previsión Social; SEDEMAR = Secretaría de Marina.

Asimismo, existen seis cuerpos colegiados que realizan actividades relativas a la gestión de sustancias químicas (SEMARNAP, INE, 1997), como son:

- La Comisión Consultiva Nacional de Seguridad e Higiene.
- El Comité de Análisis y Aprobación de los Programas para la Prevención de Accidentes (que involucran sustancias peligrosas).
- Los Consejos de Cuenca.
- La Comisión Técnica Consultiva de Vías Generales de Comunicación.
- La Comisión de Comercio Exterior.

3. Marco Jurídico de los Estudios de Riesgo Ambiental.

Todas las dependencias antes mencionadas en el ámbito de su competencia y en coordinación con la SEMARNAP vigilan el cumplimiento de la Normatividad durante todo el ciclo de vida integral de las sustancias, es decir desde que son materia prima hasta su eliminación como residuo.

Para el caso particular del Departamento del Distrito Federal, y a través de su Ley Ambiental, existen diferentes instituciones que participan en la Gestión del Riesgo Ambiental y que tienen sus atribuciones particulares como se indica en el siguiente cuadro.

Cuadro 11. Instituciones que intervienen en la Regulación del Riesgo Ambiental en el D.F.

Dependencia	Acción	Forma de Intervención
CENAPRED (SEGOB)	Coordina programas y elabora planes para prevenir desastres (riesgos químicos, incendios y explosiones entre otros).	Indirecta
Protección Civil (SEGOB)	Ejecuta programas de protección a la población en caso de riesgos potenciales y ocurrencia de accidentes.	Directa
D.D.F. Dirección de Ecología de la Secretaría del Medio Ambiente.	Evalúa y autoriza establecimientos que involucran actividades riesgosas (de "bajo" riesgo).	Directa
Consejos Ciudadanos	Tiene participación para resolver asuntos que involucren cualquier tipo de riesgo.	Indirecta
Agrupaciones y Sociedades Cíviles	Interviene como factor social al opinar respecto a la instalación de empresas o servicios con actividades riesgosas.	Indirecta
Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda	Propone la regulación de los riesgos a través de los usos y destinos del suelo.	Directa
Delegaciones Políticas en el D.F	Aplica de forma local las Leyes y reglamentos para la regulación de riesgos en apoyo a las dependencias competentes.	Indirecta
Empresas Privadas e Instituciones de Investigación y Educativas.	Aportan elementos para el desarrollo tanto de análisis de riesgo como de equipo de control de los mismos.	Indirecta

CENAPRED = Centro Nacional de Prevención de Desastres.

SEGOB = Secretaría de Gobernación.

3.3. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

Dentro de las principales disposiciones que descansan en la LGEEPA, destacan:

- La formulación de la política ambiental y la expedición de la Normatividad que deberán observar quienes realicen obras o actividades que afecten o puedan afectar el ambiente, así como lo relacionado con el establecimiento de incentivos a quienes lo protejan (Art. 15).
- El diseño, desarrollo y aplicación de instrumentos económicos que incentiven el cumplimiento de los objetivos de política ambiental (Art. 21).
- La promoción de procesos voluntarios de autorregulación ambiental, a través de los cuales se mejore el desempeño ambiental de las empresas (Art. 38).
- El fomento a la Auditoría Ambiental (Art. 38 bis).
- La elaboración de normas sobre plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos (corrosivos, reactivos, tóxicos, explosivos e inflamables) (Art. 143).
- La determinación de restricciones arancelarias y no arancelarias relativas a la importación y explotación de materiales peligrosos (Art. 144).
- En su Art. 146, establece que la Secretaría correspondiente, determinará y publicará en el Diario Oficial de la Federación los listados de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas.
- Se especifica en el Art. 147, que quienes efectúen tales actividades elaborarán, actualizarán y someterán a la aprobación de las Secretarías citadas, los Programas para la Prevención de Accidentes, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.
- La regulación de materiales y residuos peligrosos (Art. 148).
- El establecimiento de requisitos para la evaluación de riesgo sobre sustancias químicas (Art. 150).
- El derecho de disponer de información ambiental (Art. 159 bis).

3. Marco Jurídico de los Estudios de Riesgo Ambiental.

3.4. Listado de Actividades Altamente Riesgosas.

A nivel internacional y nacional se han constituido diversos listados de sustancias tóxicas para dar cumplimiento a las legislaciones relativas a crear condiciones seguras y ambientalmente adecuadas para el manejo y eliminación de los productos químicos tóxicos o peligrosos. Dichos listados constituyen un marco de referencia para determinar que sustancias en de la actividad desarrollada, es necesario considerar para prevenir cualquier modificación al proyecto o actividad.

Puesto que cada actividad tiene características especiales, existe una gran diversidad de criterios y métodos que se emplean para seleccionar las sustancias que se incluyen en cada listado. En México diversas Secretarías han publicado o colaborado en la publicación de los listados de sustancias tóxicas o peligrosas.

Destacando los expedidos en Octubre y Diciembre de 1987, donde la SSA publicó en la Gaceta Sanitaria dos Listas de Sustancias Tóxicas, de acuerdo con el Artículo 278, Fracción III de la Ley General de Salud.

De igual forma, en la Norma Oficial Mexicana NOM-010-STPS-1994 expedido por la STPS se da a conocer un listado de sustancias consideradas nocivas para la salud de los trabajadores y para las cuales se refieren niveles máximos permisibles de concentración en los centros de trabajo.

Las actividades de alto riesgo de acuerdo con el Grado de Riesgo Sanitario en Materia de Actividades, Servicios, Establecimientos y Locales, publicada en 1987 por la SSA, se clasifican en cinco clases de riesgo e incluyen: Estado físico, Vía de absorción, Grado de toxicidad, Mutagenicidad, Carcinogenicidad, Teratogenicidad, Acumulación, Efecto residual, Inflamabilidad, Explosividad, Reactividad y Corrosividad de las sustancias (SEMARNAP, INE, 1994).

En marzo de 1990, se publicó el Acuerdo que expide el primer listado de actividades riesgosas, que incluye las sustancias tóxicas, donde se señala como criterio para considerar riesgosa una actividad, la que involucre acciones asociadas con el manejo de sustancias con propiedades tóxicas, en cantidades

tales que, en caso de producirse su liberación por fuga o derrame, puedan ocasionar afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

El segundo listado de actividades riesgosas se publicó el 4 de mayo de 1992 e incluye las sustancias inflamables y explosivas; sólo queda pendiente por publicar el listado de sustancias reactivas y corrosivas.

3.5. Ley General de Salud.

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el primero de julio de 1984 y reformada el 14 de junio de 1991 y reglamenta el derecho a la protección de la salud y establece como materia de salubridad general, "la prevención y el control de los efectos nocivos de los factores ambientales en la salud del hombre".

En su última modificación de junio de 1991, señala las atribuciones que tiene la SSA en sus artículos 128, 129 y 194:

- Establecimiento de normas oficiales para el uso y manejo de sustancias, con objeto de reducir los riesgos a la salud del personal expuesto.
- Determinar los límites máximos permisibles de exposición de un trabajador a contaminantes y coordinar la realización de estudios toxicológicos.
- Ejercer el control sanitario sobre los establecimientos en los que se desarrollen actividades ocupacionales, conforme a los reglamentos establecidos.

Todas estas actividades deben realizarse en coordinación con otras autoridades con competencia en la materia, como la STPS y los Gobiernos Estatales.

3.6. Ley Federal del Trabajo.

Entró en vigor el primero de mayo de 1978, en su artículo 513, integra una tabla de enfermedades de trabajo asociadas con la inhalación de polvos, humos o con la exposición a productos químicos y otros factores de riesgos.

4. METODOLOGÍA.

El presente trabajo se realizó en tres etapas las cuales se describen a continuación:

Etapa I.

Incluye la revisión bibliográfica en la cual se realiza una recopilación de la literatura más reciente (leyes, normas, reglamentos, acuerdos, entre otros) relacionados con el manejo del Gas L.P. y otros combustibles; con esta información se procedió a la Elaboración del anteproyecto respectivo, para este trabajo en particular es necesario contar con planos, informes de accidentes, Manuales de Procedimientos de la Planta de Almacenamiento para tener todos los antecedentes de su funcionamiento.

Etapa II.

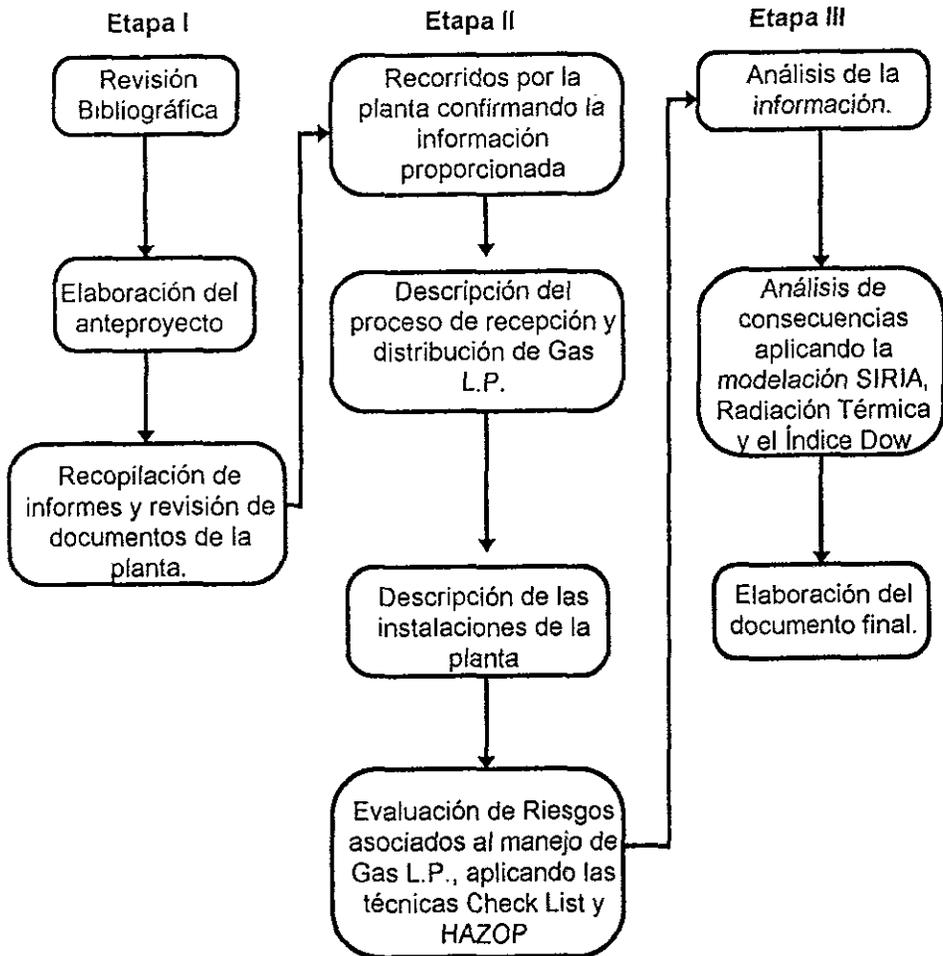
El primer paso realizado en campo fue confirmar la información proporcionada acerca de la planta, planos, procedimientos, equipos y personal, posteriormente se generó información propia complementando la que ya se tenía acerca de las instalaciones de la planta así como el proceso de recepción y distribución de Gas L.P.

Posteriormente se analizó la información con la que se contaba para seleccionar la técnica más apropiada para identificar los riesgos en la planta, inicialmente con base en lo establecido en las normas como requisitos de seguridad, procedimientos, funcionamiento e instalaciones de una planta de Gas L.P.; enseguida se aplicaron dos técnicas más idóneas para la identificación de riesgos. Check List y HAZOP.

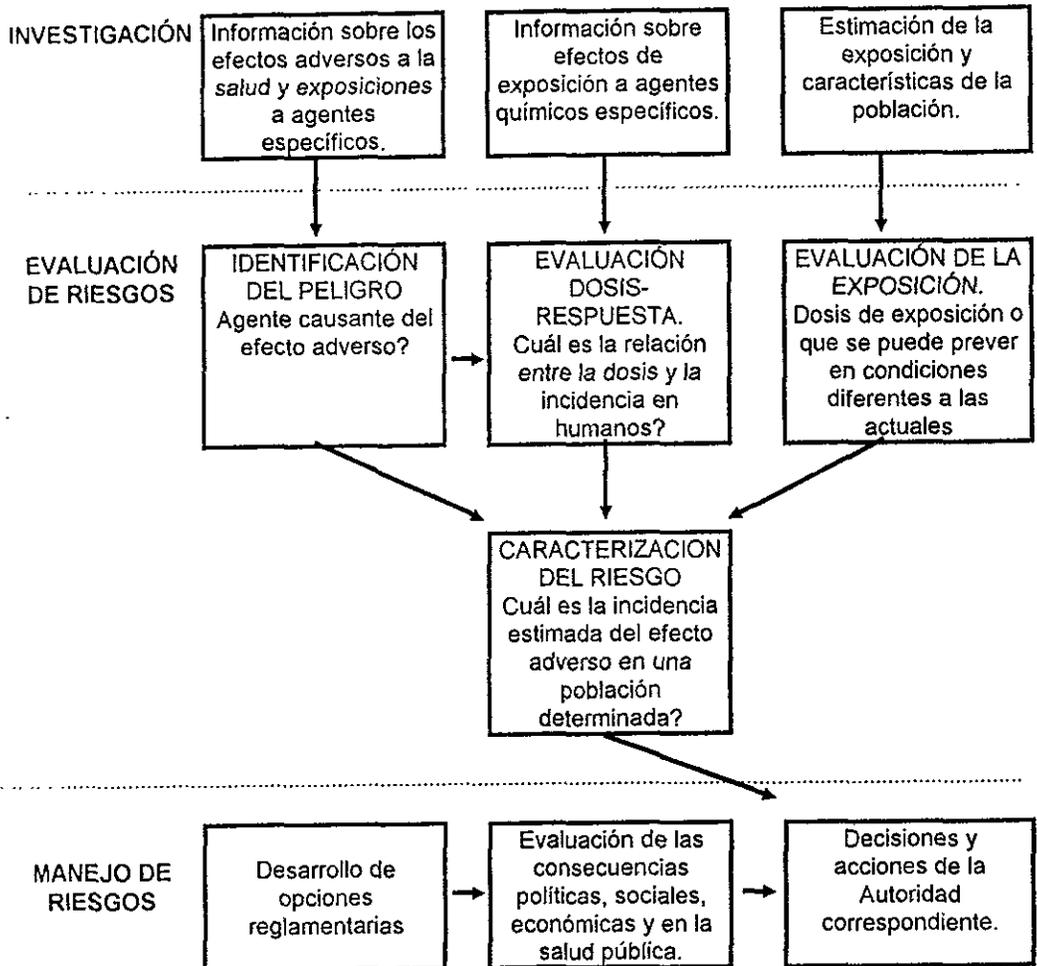
Etapa III.

Por último, para determinar las consecuencias y la jerarquización de las mismas se aplicó la simulación SIRIA (Sistema de Información Rápida para Impacto Ambiental), el Modelo de la Radiación Térmica y el Índice de Fuego y Explosión (DOW) para determinar cuantitativamente las consecuencias de los eventos identificados.

Finalmente con toda la información generada se elaboró el informe final, incluyendo las conclusiones y recomendaciones más relevantes.

DIAGRAMA DE FLUJO

Además se consideró el procedimiento de la EPA descrito en el siguiente diagrama para complementar lo referente a efectos sobre la salud:



Tomado de EPA, 1984.

5. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL.

Los accidentes por su naturaleza, son inesperados y por lo tanto difíciles de predecir. Sin embargo, el examen sistemático de los diferentes componentes de un proyecto incluyendo el análisis histórico de fallas, permite a los expertos realizar predicciones de la probabilidad de ocurrencia de un evento. Una vez que se ha predicho el nivel de accidente se cuantifican los efectos en los factores ambientales, económicos y sociales. El proceso empleado para lograr lo anterior se conoce como Evaluación de Riesgos (Weitzenfeld, 1996).

Los riesgos son evaluados o cuantificados de manera que puedan ser comparados priorizados y mitigados utilizando una predicción racional. Una simple cuantificación rompe el riesgo de un evento en dos partes, su probabilidad y sus consecuencias. La ecuación clásica para definir el riesgo es:

$$\text{Riesgo} = (\text{Probabilidad}) (\text{Consecuencias})$$

La realización de un estudio de riesgo implica llevar a cabo todo un procedimiento que abarca la identificación, evaluación, simulación de escenarios y por último, las alternativas de control o mitigación. Dewolf, (1993) divide al Análisis de Riesgo en tres pasos: Identificación del Peligro, Análisis de Vulnerabilidad y Análisis de Riesgo.

Identificación de Peligro. Es el proceso de determinar el "peor caso" más creíble de liberaciones accidentales de sustancias tóxicas o peligrosas, incendios, o explosiones. La información necesaria incluye los tipos y cantidades de sustancias peligrosas, tipos de instalaciones industriales peligrosas y sus características del peligro, así como liberaciones al aire, incendios y explosiones.

La Guía técnica de la EPA define el escenario del "peor caso" como la liberación repentina y completa de la más grande cantidad de una sustancia tóxica dentro de un período de 10 minutos. Sin embargo, a pesar que este escenario puede tener el mayor impacto inmediato, puede no ser el peor caso que afecte el

planteamiento de una emergencia. Una menor cantidad de una liberación química sobre un mayor periodo de tiempo puede resultar más dañino, aumentando la concentración de aquellos sitios receptores o a sotavento (Dewolf, 1993).

Análisis de Vulnerabilidad. El análisis de vulnerabilidad depende de los elementos del escenario ambiental, consecuencias estimadas del modelo de simulación y evaluación. Estos incluyen las causas básicas o mecanismos por los supuestos accidentes y determinando las áreas vulnerables, tanto de la instalación y comunidad que los rodea, que puede verse afectada por las liberaciones en el aire, incendios o explosiones (Dewolf, 1993). Para este análisis, se hace énfasis en los receptores más cercanos y susceptibles: escuelas, hospitales y centros habitacionales, iglesias o centros de reunión cercanos.

Análisis de Riesgo. En este paso se evalúan conjuntamente las probabilidades relativas de los accidentes examinados y las posibles consecuencias del análisis de vulnerabilidad, para determinar el nivel de riesgo de la comunidad circundante (Dewolf, 1993).

Los resultados de estos análisis son utilizados en los programas de atención de emergencias mediante la elaboración de documentos que describan los equipos y procedimientos involucrados en la operación de una instalación destinados a la atención de un evento de emergencia e incluyen los siguientes elementos:

Cuadro 12. Etapas en la Evaluación de Riesgo.

ETAPAS	OBSERVACIONES
1. Identificación del peligro.	✓ Predicción de las posibilidades de que ocurran los accidentes.
2. Análisis del peligro.	
3. Análisis de consecuencias.	✓ Predicción de la posibilidad y magnitud de los efectos a la salud debidos a la ocurrencia de estos accidentes.
4. Determinación del riesgo.	
5. Evaluación de resultados.	

Fuente: Weitzenfeld, 1996.

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

5.1. Procedimiento para la identificación del riesgo ambiental.

El procedimiento para la identificación de riesgos se basa en realizar una revisión y comprensión rigurosa del manejo de materiales, equipo y procedimientos operacionales utilizados. El resultado de esta exhaustiva revisión debe estar perfectamente documentado, a fin de que sea una herramienta de ayuda en las operaciones futuras y con la posibilidad de ser utilizada como punto de partida en el momento que sea necesario llevar a cabo adecuaciones o cambios en la materia prima, unidades del proceso o procedimiento de operación.

Los accidentes, como derrames de productos químicos, pueden ocurrir durante el transporte, almacenamiento o proceso, debido a una gran variedad de causas. Algunas veces son el resultado de una sucesión o combinación de fallas de equipos, sistema o del error humano, por ello es necesario identificar las causas de ocurrencia de los riesgos, antes de que pueda suceder un evento.

La identificación del riesgo es cualitativa y su evaluación debe ser cuantitativa. La evaluación busca determinar la importancia relativa de aquellos diferentes peligros que han sido identificados y la probabilidad relativa que tiene un evento riesgoso específico.

El análisis de riesgo está basado en las preguntas tales como: ¿Que puede salir mal?, ¿Que tan posible es que suceda?, ¿Cuales son las consecuencias?

Para responder a dichas preguntas en el análisis de riesgo se hace uso de la información disponible, generada por el peligro que corre un individuo, sus propiedades o el ambiente; generalmente los análisis de riesgo siguen los pasos de identificación y estimación del riesgo, que se describen a continuación.

Identificación del riesgo: Implica reconocer su existencia y definir las características del acontecimiento; por ejemplo, el reconocer que pueden ocurrir escapes accidentales de los tanques de almacenamiento o tuberías de Gas L.P.

Estimación del riesgo: Consiste en cuantificar el volumen o la tasa de escape, geometría del escape, barreras físicas y las condiciones climatológicas que determinan las consecuencias finales de un acontecimiento peligroso.

Por otra parte, para dar inicio a la primer etapa para la Evaluación de Riesgo que se llevan a cabo en el país, se hace la revisión de los dos Listados de Actividades Altamente Riesgosas, donde se debe verificar si las materias primas, combustibles o productos que se manejaran en la empresa están dentro de ellos; en caso positivo, es necesario notificar a la Autoridad a fin de que asigne la modalidad del estudio de riesgo que satisfaga sus requerimientos.

En este punto cabe mencionar que existen tres modalidades: Análisis Preliminar de Riesgo, Análisis de Riesgo y Análisis Detallado de Riesgo. Una vez asignado el estudio a realizar, proceder a la búsqueda del consultor o especialista a fin de llevar a cabo la elaboración del estudio y finalmente ser sometido a su evaluación y dictamen por parte de la Autoridad correspondiente. Es necesario señalar que se carece del Reglamento de Riesgo Ambiental y por tanto, se desconoce del procedimiento administrativo, tiempos de resolución y sanciones específicas por la omisión de estos estudios.

Finalmente, es pertinente hacer la observación que las Leyes Estatales ya han adquirido ciertas atribuciones para la evaluación del Riesgo Ambiental dentro de sus entidades, de tal forma que aunque un proyecto o empresa en operación no se encuentre dentro de los dos listados emitidos por la Federación, debe cumplir con las exigencias Estatales y en el futuro, con las disposiciones municipales, particularmente de aquellos ayuntamientos altamente industrializados.

5.2. Técnicas para la Identificación del Riesgo Ambiental.

La identificación del riesgo es el primer paso para establecer su control efectivo; las técnicas de Identificación de Riesgos son procedimientos cualitativos que se basan principalmente en la revisión del diseño, materias primas, componentes de

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

los procesos, servicios y sistemas de soporte, factores del ambiente y equipos de seguridad, dicha revisión se realiza durante las diferentes fases del proyecto.

Existe una gran cantidad de métodos cualitativos para identificar riesgos entre los cuales destacan por su frecuencia de uso los siguientes:

- ✓ Lista de seguridad.
- ✓ Lista de Verificación (Check-list).
- ✓ Análisis ¿Que pasa si? (What if?).
- ✓ Análisis de falla-efecto (FMEA).
- ✓ Árbol de fallos (FTA).
- ✓ Análisis de riesgo y operabilidad (HAZOP).

Las técnicas más frecuentes son el Checklist, HAZOP, Árbol de Fallos (FTA), o Análisis de Modelos de Fallas y Efectos (FMEA). En una publicación del Instituto Americano de Ingenieros Químicos (AICh&E) dentro de las guías para la evaluación de peligro se reconocen y aceptan algunas técnicas para la identificación del peligro formal, como son el Análisis de Peligro Preliminar (PHS) y el Análisis de Árbol de Fallos (FTA). A continuación se describen las principales características de las técnicas Checklist y HAZOP, utilizadas en el presente trabajo.

5.2.1. Lista de Verificación (Check-List).

Esta técnica consiste en una lista de preguntas acerca de la organización, operación y mantenimiento de la Planta. El propósito de crear un Checklist es identificar situaciones de peligro en cualquier momento en el ciclo de vida de un proceso, para aumentar la seguridad humana y rendimiento de un proceso o asegurar el cumplimiento con distintas normatividades y estándares ingenieriles. En su configuración básica es un registro de ayuda para el evaluador al indicar los puntos de la planta que debe considerar (Greenberg y Cramer, 1991).

El Checklist es utilizado para verificar varios aspectos o requisitos sin que haya sido pasado por alto el más mínimo detalle, por lo que está basado en la preparación y experiencia del personal evaluador, sin olvidar que debe contar con códigos y estándares. Puede aplicarse durante todas las etapas del proyecto, desde el diseño hasta su operación, siendo de gran ayuda para identificar riesgos potenciales. Cuando el objetivo sea el establecimiento de diseños seguros y áreas específicas, puede requerirse la realización de estudios más detallados.

Para la realización del Checklist es necesario contar con un Manual de procedimientos del equipo, instalaciones, Normatividad Aplicable, etc. y conocer el sistema de trabajo, la planta y las listas de verificación apropiadas.

Durante su aplicación se lleva a cabo la inspección y revisión de los proyectos obteniendo respuestas estándares de verificación y una lista de riesgos así como una serie de acciones correctivas sugeridas. Es útil para identificar riesgos y verificar que concuerden los procedimientos con los estándares establecidos, además tiene las siguientes ventajas:

- * Es el método más simple de análisis de riesgo disponible.
- * Su desarrollo requiere de personal de alto conocimiento, pero su utilización puede realizarla personal relativamente menos capacitado, con una efectividad aceptable si ha sido instruido adecuadamente en su aplicación.
- * Es una técnica dinámica y puede modificarse según necesidades, de tal forma que resulta multidisciplinaria.

Dentro de las desventajas se tiene que provee información general sobre el estado del proyecto, pero no jerarquiza los eventos considerados como inaceptables. Un Checklist esta enfocado únicamente a un solo evento en un tiempo dado, por tanto no puede identificar riesgos como resultado de interacciones entre procesos o procedimientos y los resultados dependen de la habilidad del grupo de trabajo o persona que las ejecuta.

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

5.2.2. Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP).

El HAZOP puede identificar peligros de procesos y problemas de operabilidad involucrando un equipo multidisciplinario que trabaja de manera conjunta, mediante la búsqueda de desviaciones de las condiciones de diseño y operación esperadas. El equipo examina cuidadosamente la instalación y el proceso corriente por corriente o componente por componente utilizando “palabras guías”, para establecer de forma sistemática y metódica consecuencias, basándose en los resultados de la aplicación de las palabras guía (Greenberg y Cramer, 1991).

El HAZOP permite proveer fundamentos con base en conocimiento acerca del origen de riesgos para realizar recomendaciones del diseño de la planta o la modificación de procedimientos, proporcionando documentación relativa a la seguridad de líneas y piezas de equipo en la planta, lo cual es muy útil cuando se realizan modificaciones y en función de esto se dan las bases para los programas de manejo de riesgo. Este método permite identificar riesgos, sistemáticamente en un proceso continuo en operación (Greenberg y Cramer, 1991).

Para aplicarlo es necesario tener claro el propósito, objetivo y alcance del estudio, así como seleccionar un equipo de trabajo experimentado en diseño, operación y mantenimiento de proceso contando con un líder del equipo.

Para aplicar este método es necesario realizar las siguientes acciones:

- * Verificar las condiciones de construcción mostradas en diagramas de procesos.
- * Lista de documentos de soporte.
- * Diagramas de flujo de los procesos.
- * Descripción del proceso.
- * Manuales de operación y/o procedimientos.
- * Información de reactivos de proceso.
- * Especificaciones de materiales y equipos.
- * Programa tentativo de tiempo gastado en elaboración de hojas de diagramas.

- * Determinar el manejo de datos (programa de computadora y hojas de datos)
- * Lista de abreviaturas y acrónimos compilados
- * Suponer los puntos críticos.
- * Informar sobre el HAZOP a todo el equipo de trabajo (un día)
- * Tener una reunión informativa del sistema o proceso antes de iniciar el trabajo.

Los riesgos son identificados durante la aplicación de las siete palabras guía, cuya interpretación es la siguiente.

Palabra guía	Desviación de la operación
No	Sin flujo Sin reacción
Más	Incremento del flujo Incremento de presión Incremento de la temperatura Incremento del rango de reacción
Menos	Reducción del flujo Reducción de presión Reducción de la temperatura Reducción del rango de reacción
Parte de	Cambio de condiciones o materiales presentes.
Además de	Además del procedimiento normal se tiene otro que es ajeno
En lugar de o Inverso a	Diferentes materiales presentes
Otros	Diferentes condiciones de la operación normal de la planta. Arranque. Cierre Instrumentación Muestreo Falla funcional Corrosión Erosión Frío severo Huracanes Tornados Sabotaje

Fuente: Greenberg y Cramer, 1991.

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

Como resultado se tiene un registro de todas las desviaciones, consecuencias, causas, medidas y acciones de prevención. Finalmente el HAZOP permite:

- ✓ Jerarquizar los riesgos en sitios o áreas que puedan tener fallas potenciales,
- ✓ Proporciona un instrumento para futuras recomendaciones en las modificaciones del diseño de la planta o en su conjunto.
- ✓ Proporciona la documentación *relacionada con la seguridad de cada línea y pieza del equipo de la planta.*
- ✓ Proporciona las bases priorizadas para el análisis de riesgo subsecuentes.
- ✓ Proporciona las bases para un programa de prevención.

Cuadro 13. Palabras Guía del HAZOP (Hazardous and Operability).

PALABRAS GUÍAS.	SIGNIFICADO	COMENTARIOS	POSIBLES DESVIACIONES EJEMPLOS	POSIBLES CAUSAS	POSIBLES CONSECUENCIAS.
NO (NOT)	Negación de la intención prevista	No se logran ninguna de las provisiones del diseño.	Ausencia de flujo	Falla de válvula de control, falla Operador, etc	Calentamiento del motor de la bomba
MÁS (MORE)	Aumento cuantitativo de lo previsto	Sólo a las propiedades cuantitativas como flujo, presión, o actividades, Como transmisión de calor o velocidad de una reacción, etc.	Aumento de temperatura	Falla del agua de enfriamiento	Paro de la bomba.
MENOS (LESS)	Disminución cuantitativa de lo previsto.	Como transmisión de calor o velocidad de una reacción, etc.	Disminución de temperatura.	Falla de controlador de nivel.	Perdida de succión de la bomba.
ADEMÁS DE (AS WELL AS)	Aumento cualitativo.	Se logran todas las provisiones, pero ocurren desviaciones adicionales.	Presencia de impurezas.	Falla en el control de calidad de las materias primas.	Envenenamiento del catalizador corrosión.
PARTE (PART OF)	Disminución cualitativa.	Sólo se logran parte de las provisiones de diseño.	Cambio en la composición de flujo.	Fallo en el control de interfase.	Presencia de agua en la reacción.
INVERSO (REVERSE)	Lo opuesto a lo previsto en el diseño.	Aplicable al flujo inverso, reacción química invertida.	Flujo inverso.	Ausencia de válvulas de retención.	Golpes de ariete, sifones.
OTRO QUE (OTHER THAN)	Todo lo que pueda ocurrir fuera de las condiciones de operación.	Ocurre algo totalmente distinto.	Mantenimiento parada, arranque.	Falla de algún equipo, fuga, cambio de catalizador.	Costos de producción tiempo.

PNUMA, OIT, Y OMS, 1990.

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

5.3. Matriz de Clasificación de Parámetros.

La Matriz de Clasificación de Parámetros se elabora por el grupo de trabajo basándose en la serie de estudios de HAZOP, de los riesgos identificados. Se designan los valores de criticidad como estimaciones apropiadas para dirigir el estudio, teniendo bien establecidos los elementos del proyecto que se tomarán como base para determinar la frecuencia y gravedad de los daños ocasionados. Un ejemplo de asignación de valores es el siguiente:

Cuadro 14. Valores de Criticidad.

I	Catastrófico	Muertos dentro o fuera del sitio. Daño y pérdidas de producción tan grandes como \$1,000,00 USD
II	Severo	Lesiones múltiples Daño y pérdida de producción entre \$100,000 y \$1,000,000 USD
III	Moderado	Una lesión simple. Daño y pérdida de producción entre \$10,000 y \$100,000 USD
IV	Leve	Sin lesiones. Daño y pérdida de producción menor que \$10,000 USD

Fuente: Greenberg and Cramer, 1991.

Posteriormente se aplican los valores considerados por el equipo en relación a la frecuencia de ocurrencia del evento identificado, utilizando la tabla siguiente:

Cuadro 15. Valores de frecuencia.

Clasificación	Frecuencia
a.	Ocurre más de una vez por año.
b.	Ocurre entre 1 y 10 años.
c.	Ocurre entre 10 y 100 años.
d.	Ocurre entre 100 y 10,000 años.
e.	Ocurre al menos una vez por 100,00 años

Fuente: Greenberg and Cramer, 1991.

Al conjuntar los valores de criticidad y de frecuencia asignados se obtiene la Matriz de Riesgo, que tiene la siguiente configuración:

MATRIZ DE RIESGO.

C R I T I C I D A D	FRECUENCIA				
	A	B	C	D	E
I	1	1	1	2	4
II	1	2	3	3	4
III	2	3	4	4	4
IV	4	4	4	4	4

Fuente: Greenberg and Cramer, 1991

Finalmente se adoptan las definiciones del nivel de riesgo así como las posibles acciones generales que deben ser consideradas para disminuir o reclasificar las condiciones de riesgo identificadas. Como se muestra a continuación.

Cuadro 16. Definiciones y Acciones Recomendadas por la clasificación.

Clasificación	Descripción	Medidas de mitigación.
1	Inaceptable	Puede ser mitigado con ingeniería o control administrativo para una clasificación hasta 3 o menos en un periodo de tiempo específico de 6 meses.
2	Indeseable	Puede ser mitigado con ingeniería o control administrativo para una clasificación hasta 3 o menos en un periodo de tiempo específico de 12 meses.
3	Aceptable con control	Pueden ser verificados los procedimientos o controles en el área.
4	Aceptable	No requiere de acción de mitigación.

Fuente: Greenberg and Cramer, 1991.

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

Aunque puede parecer que el método HAZOP da origen, de una manera mecánica, a numerosas desviaciones hipotéticas, su éxito o fracaso dependen de cuatro aspectos:

- I. La precisión de los dibujos y otros datos utilizados como base del estudio.
- II. Los conocimientos técnicos y la experiencia del equipo.
- III. La capacidad del equipo para utilizar el método como un medio auxiliar de su imaginación en la percepción de desviaciones, sus causas y consecuencias:
- IV. La capacidad del equipo para mantener un sentido de la proporción, en particular cuando se evalúa la gravedad de los riesgos de accidente que se han puesto al descubierto.

5.4. Selección de la Técnica a utilizar.

Desafortunadamente, no existe una técnica que sea aplicable universalmente a todos los casos, cada una tiene sus ventajas y desventajas, la selección correcta para un proceso particular depende de muchos factores por ejemplo, la etapa del proyecto en la cual se realiza el análisis (durante el establecimiento, construcción y operación), y los objetivos a cumplir por parte de la empresa.

Las otras técnicas con una mayor aplicación sistemática, como el FMECA, WHAT-IF y HAZOP, permite una mayor aproximación estructural a la identificación del riesgo. Estas técnicas son más apropiadas para las etapas finales del proyecto o durante la operación del proceso, dependen en mucho de la obtención de información y elaboración de documentos específicos. Su uso requiere habilidades considerables y su aplicación se requiere de mayor tiempo y dinero.

Técnicas matemáticas y probabilísticas como el Árbol de Fallas y de Eventos pueden ser herramientas muy útiles, pero requieren más experiencia y recursos. Estos métodos son particularmente buenos para revisar procesos complejos en los cuales existen interdependencias e interacciones. Donde además se cuenta

con una base de datos suficiente, por lo que pueden facilitar estimaciones cuantitativas de la frecuencia de ocurrencia para simular los escenarios de accidentes probables.

Lo importancia de elegir una técnica es tener la seguridad que es la adecuada para la identificación de un riesgo en particular y aplicada en nuevos procesos, modificaciones y de forma periódica para la operación del proceso.

De esta manera se puede aplicar la *Clasificación de Riesgo Relativo*, que es un procedimiento para clasificar las áreas de proceso, almacenamiento y transporte dentro de una instalación de acuerdo al *riesgo relativo asociado* dentro de estas áreas. El riesgo relativo (nivel de peligro) debe considerar lo siguiente:

- ◆ Tipo químico.
- ◆ *Propiedades Físicas.*
- ◆ Inflamabilidad y/o toxicidad.
- ◆ Cantidades en almacenamiento y proceso de contenedores y tuberías.
- ◆ *Condiciones de almacenamiento y operatividad (presión y temperatura)*
- ◆ Sustancias, volúmenes almacenados, procesos en los que intervienen etc.; está información es necesarias para que la evaluación de consecuencias de liberaciones accidentales sea más exacta.

Todo los puntos anteriores se consideran de acuerdo con el método de clasificación elegido para dar un número indicando el nivel de riesgo de cada área, el cual puede ser comparado y la más alta área de riesgo puede ser elegida por una especificación detallada de escenarios, con base en esto, el procedimiento de identificación de riesgo puede ser dividido en tres etapas importantes:

Experiencia. Esta clase compara un nuevo proceso o un lugar de equipo con conocimientos adquiridos y forman parte de una experiencia previa con procesos

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

similares. Básicamente el método de experiencia recae en comparar una nueva situación con una conocida que ya ocurrió.

Experiencia argumentada. Recae en varios chequeos en diseño y operación y su comparación con las normas o situaciones previas, es utilizado comúnmente. Cada paso de un proceso es revisado para determinar que pasaría siguiendo las fallas de equipo, errores de operatividad o procesos fuera de control.

Métodos analíticos. Este proceso utiliza diagramas lógicos o varios tipos de listas. Los diagramas lógicos incluyen árboles de falla, árboles de evento y diagramas de causa-consecuencia. Los diagramas lógicos definen claramente las relaciones de causa y efecto e identifican las combinaciones de falla que pueden dirigir a un evento indeseable. Estos métodos pueden ser combinados con información cuantitativa en probabilidades para proveer y un método de evaluación de peligro.

5.5. Estimación de consecuencias.

Existen diferentes Métodos Semicuantitativos de Análisis de Riesgo, destacando los siguientes:

- Índice Dow de Fuego y Explosión.
- Índice Mond.
- Fugas y Derrames
- Nubes explosivas
- Puff
- Radiación térmica

Estos métodos permiten cuantificar los efectos derivados de un evento riesgoso, su aplicación recae en la posibilidad de predecir el nivel de daño en el entorno, en caso de su ocurrencia.

5.5.1. Modelos de Fugas y Derrames.

Este modelo permite realizar una estimación de la cantidad o volumen de las sustancias peligrosas, a nivel del piso, provenientes de una fuga gaseosa o de un derrame de líquidos que se evaporan.

Los parámetros de salida del modelo son el tiempo que tarda la nube peligrosa en recorrer una distancia manteniendo una concentración dada y el área de "exclusión" o área de riesgo, en la cual se pueden tomar acciones preventivas, combate de la emergencia y evacuación del personal en un accidente.

Para el caso de una "Fuga de Gas L.P.", la ecuación empleada es la siguiente:

$$C(x,0,0;0) = \frac{Q}{\pi S_y S_z U}$$

donde:

Variable	Comentario	Unidades
C(x,0,0;0)	Concentración de la sustancia peligrosa x m abajo de la fuga.	(g/m ³)
Q	Gasto de la fuga.	(m/s)
π	Constante = 3.1415926.	
U	Velocidad media del viento.	(m/s)
S _y	Coefficiente de dispersión en la dirección y.	(m)
S _z	Coefficiente de dispersión en la dirección z.	(m)

En esta ecuación, la fuga se considera como una fuente puntual. Para definir el área de exclusión se recomienda tomar los TLV's como criterio para determinar la concentración máxima a la cual se puede exponer una persona durante periodos de tiempo relativamente cortos, desde unos minutos hasta una hora.

Las suposiciones implicadas en el modelo son las mismas que se indican para el modelo (X , Y ,Z) e Isoconcentración. Para estimar la magnitud del gasto de la fuga de gas, se tienen los siguientes datos.

Tipo de Almacenamiento	Gasto (kg/s)
Válvulas para exceso de flujo en carros tanque y pipas.	menor que 0.9
Válvulas para exceso de flujo en barcasas.	menor que 1.9

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

Por lo general el tiempo que dura una fuga es de algunos minutos, por lo que el gasto "Q" se puede suponer constante durante la modulación.

En el caso de "un derrame de un líquido que se evapora", los cálculos se efectúan considerando la emisión como una fuente de área, suponiéndose que la forma de derrame es Cuadrangular.

El modelo para derrames está basado considerando una pequeña modificación, con el fin de representar la fuente de área: Sz se determina en función de la sustancia x y Sy en función de una distancia ficticia x + y. Asumiendo que :

$$l_0 = 4.3S_{y0}$$

$$S_{y0} = l_0 / 4.3$$

donde:

Variable	Comentario	Unidades
l ₀	Longitud de un lado del cuadrado de derrame.	m
S _{y0}	Coefficiente de dispersión a la distancia Xy.	m

El procedimiento de cálculo es idéntico para el caso de fuga de gas, obteniéndose el área de exclusión y el tiempo en que la nube de vapor alcanza un punto determinado con una concentración dada.

5.5.2. Modelo del Puff.

Este modelo considera la dispersión de una burbuja o "Puff" tridimensional, formado por la masa de una sustancia que es liberada a la atmósfera en unos segundos, tal como la liberación de una nube de gas provocada por una explosión o ruptura de un contenedor esférico.

Se asume que la dispersión del Puff, a lo largo de la dirección del viento (eje X) es igual a la dispersión en la dirección lateral (eje Y), es decir condiciona su posición viento abajo del punto de emisión.

La ecuación representativa del modelo es la siguiente:

$$C(x,y,0;He) = \frac{2Q}{(2\pi)^2 \cdot Sh^{3/2} \cdot Sz^2} \cdot \exp \left[-0.5 \left(\frac{(x-Ut)^2 + y^2}{Sh^2} + \frac{He^2}{Sz^2} \right) \right]$$

donde:

Variable	Comentario	Unidades
C(x,y,0;He)	Concentración en el Puff a nivel de piso en la posición (x, y) a partir del centro del Puff.	g/m ³
Q	Emisión total de gas.	g
He	Altura de emisión.	m
Sh =Sy=Sx	Coefficiente de dispersión del Puff en las direcciones. X e Y.	m
Sz	Coefficiente del Puff en la dirección Z.	m
π	Constante 3.1416.	
T	Tiempo de desplazamiento del Puff.	s
U	Velocidad promedio del viento.	m/s
x	Distancia desde el centro del Puff en la dirección del viento	m
y	Distancia desde el centro del Puff en la dirección lateral	m
z	Distancia desde el centro del Puff en la dirección vertical.	m

Los términos Sy y Sz, los cuales definen el tamaño del Puff, dependen de la distancia recorrida (Ut) y estabilidad atmosférica prevaleciente. En el modelo se considera que la estabilidad, y por lo mismo el viento, permanece constante todo el recorrido del Puff, los coeficientes Sy y Sz se calculan con la ecuación descrita en la Posición (x ,y ,z) e Isoconcentración, seleccionándolos de tal forma que la concentración que se tendría desde un emisor puntual continuo.

El modelo da como salidas la **distancia** recorrida por el Puff, el **tiempo** de recorrido y la **concentración** en el centro del mismo a nivel de piso; los cálculos se efectúan de tal forma que se interrumpen cuando se alcanza una distancia de interés o una concentración determinada por el usuario (por ejemplo los TLV's).

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

Igualmente se determinan las curvas de Isoconcentración correspondientes a la concentración suministrada por el usuario en varios puntos del recorrido del Puff.

5.5.3. Modelo de la Radiación térmica.

El desarrollo de los cálculos de la Modelación de la Radiación Térmica, consiste en el desarrollo de los siguientes pasos y con los datos de:

Área del derrame (A):	m ²
Calor de combustión (Ec):	BTU/lb (KJ/kg)
Velocidad de combustión (vc):	kg/m ² s
Diámetro del derrame (D):	m
Temperatura ambiente:	°C
Presión de vapor del agua (Pw):	3130 Pa
Densidad del aire (da):	1.2 gr/mL
Aceleración de la gravedad (g):	9.81 m/s ²

Las ecuaciones y los parámetros necesarios se describen a continuación:

a) Altura visible de la flama (H).

$$H = \frac{D (42 vc)}{(da (g D)^{0.5})^{0.61}}$$

b) Calor emitido.

$$Q = (vc) (Ec) A$$
$$Q_r = 0.30(Q)$$

c) Factor de exposición.

$$F_p = \frac{1}{4 (\pi * d^2)}$$

d) Transmisividad atmosférica.

$$T = 2.02 (P_w * d)^{-0.09}$$

e) Cálculo del flujo térmico recibido

$$Q = F_p T Q_r$$

Después de obtener los resultados del Flujo Térmico, para cada distancia seleccionada por el equipo evaluador (10, 15, 20 y 25 m), se compara con los efectos producidos por la onda de calor, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 17. Efectos del Flujo Térmico en las instalaciones y población expuesta.

Intensidad (kw/m ²)	Efecto observado
35.5	Causa daño a equipo de proceso
25.0	Energía mínima para incendiar la madera sin fuente de ignición directa
12.5	Energía mínima para incendiar la madera con fuente de ignición directa
9.5	Daño a personas con una exposición hasta 8 seg, produciendo quemaduras de primer orden. Quemaduras de segundo orden con exposición de 20 segundos.
4.0	Si no se protege a la persona, es posible que aparezcan quemaduras de segundo orden con exposición de 20 a 30 segundos.
1.6	No se presentan molestias con exposición por tiempo indefinido.

Finalmente se procede a establecer zonas de amortiguamiento que impidan que asentamientos humanos puedan estar ubicados en zonas de alto riesgo, lo que obligaría a las empresas a realizar inversiones más costosas para incrementar las medidas de control de los riesgos detectados. A continuación se muestran los criterios para el establecimiento de las zonas de amortiguamiento.

Cuadro 18. Método Holandés para las Zonas de Amortiguamiento.

Clase	Tipo de Actividad	Hab/Ha	Extensión Zona Buffer
I	Industrias de Base	< 25	> 2 km.
II	Industrias Pesadas	50	> 1 km.
III a	Industrias semipesadas (Muy molestas)	100	> 500 m
III. b	Industrias semipesadas (Poco molestas)	200	> 200 m
IV. a	Industrias Ligeras (Relativamente molestas)	200	50-100 m
IV. b	Industrias Ligeras (Poco molestas)	200	50-100 m
V	Industrias de Servicio	400	< 100 m
VI	Talleres	800	< 50 m

5. Procedimiento para la Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental.

El Método Juchser para establecer las Zonas de Amortiguamiento toma en cuenta los siguientes factores:

- 1.- Peso de materiales a transportar por hombre-año.
- 2.- Superficie ocupada, incluidas las vías de comunicación (en m² por trabajador).
- 3.- Numero de trabajadores de la fábrica.
- 4.- Distancia sobre la cual las molestias son superiores al límite aceptable.

En función de los 4 factores se tienen 10 categorías, donde las cuatro primeras tienen la posibilidad de ser integradas en zonas con asentamientos humanos.

Cuadro 19. Método Juchser para las Zonas de Amortiguamiento.

Categoría	Zona Buffer (en m)	Posibilidad de Implantación	Correspondencia con criterios Holandeses
I	0	Zona residencial	VI
II	100	Centro de zonas urbanas	V
III	200	Zona industrial para industrias ligeras que no producen molestias	IVb
IV	300		
V	600	Zona industrial para industrias ligeras que producen molestias	VIa
VI	800		IIIb
VII	1500	Establecimientos industrias especiales aisladas	IIIa
VIII	2000		I, II
IX	2000		
X	2000		

6. EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL PARA EL MANEJO DEL GAS L.P.

6.1. Características del Gas L.P.

El Gas Licuado de Petróleo (LPG), es una mezcla de gases licuados a presión como propano y butano, que se obtiene del Gas natural o petróleo; el LPG es licuado para realizar su transporte y luego se vaporiza para diferentes usos como combustible o materia prima en la industria química o en empresas de servicios.

Los componentes de bajo peso molecular y menos de cuatro átomos de carbono son gases, destacando el metano (gas natural), etano, propano y butano. El gas natural es una mezcla consistente principalmente de metano (arriba del 85%) con cantidades menores de etano, propano, nitrógeno y butano.

El Propano es un gas Hidrocarburo de la serie de los alcanos, que se obtiene a partir del aceite crudo y gas natural, como un producto de la refinación de petróleo, es ligeramente reactivo a temperatura ambiente y reacciona con el cloro si la mezcla es expuesta a la luz. A altas temperaturas, el propano produce flama con el aire, produciendo dióxido de carbono y agua como productos finales, es altamente utilizado como combustible.

Cerca de la mitad del propano producido anualmente en los Estados Unidos es usado como combustible doméstico e industrial. Cuando se usa como combustible, el propano no es separado de sus compuestos relativos, butano-etano, y propileno-butano, forma un sólido hidratado a bajas temperaturas, ocasionando graves inconvenientes cuando ocurre un bloqueo en la línea de gas natural, se usa como gas contenedor, combustible de motor, refrigerante, solvente a bajas temperaturas y como fuente de propileno y etileno.

El Butano es un hidrocarburo saturado, en el n-butano, la cadena es continua y en el isobutano es ramificada. Esta diferencia en la estructura resulta en pequeñas pero distintivas diferencias en las propiedades.

Ambos butanos se presentan en el gas natural, petróleo, y refinación de gases. El butano muestra una pequeña reactividad química a temperatura normal pero

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

produce flama en presencia de una fuente de ignición con aire o oxígeno, esto aumenta la porción más volátil de gasolinas y son algunas veces adicionadas con propano para ser puestas a la venta como gas contenedor. La mayoría del n-butano es convertido a butadieno, que se emplea en la fabricación de goma sintética o pinturas de látex.

El porcentaje y nombre de los componentes riesgosos del Gas L.P. son Butano 70% Propano 30% v/v., (Número CAS: 1075, Número de Naciones Unidas: 1075). A continuación se muestra en el cuadro 20 las Propiedades Físicas y Químicas del Gas L.P.

Cuadro 20. Propiedades Físicas y Químicas del Gas L.P.

Nombre comercial:	Gas L.P.
Nombre químico:	Propano-Butano (30/70)
Fórmula química:	C ₃ H ₈ y C ₄ H ₁₀ .
Estado físico:	Gas en condiciones normales de presión y temperatura, líquido bajo presión.
Peso molecular	44 (Propano) y 58 (Butano)
Densidad a temperatura inicial T1	1.53 propano y 2.0 butano (g/mL) con 1.0 para el aire; para agua 1.0, se tiene 0.51 (propano) y 0.58 (butano) g/mL.
Punto de ebullición:	-42.5 °C (propano) y -0.6 °C (butano).
Calor de vaporización a (T2):	101.76 cal/g (propano) 92.09 cal/g (butano)
Calor de combustión, como líquido	21,490 BTU/lb (propano) y 21,134 BTU/lb (butano)
Calor de combustión, como gas	21,646 BTU/lb (propano) 21,293 BTU/lb (butano)
Temperatura del líquido en proceso:	20.0 °C.
Presión de vapor (mm Hg a 20 °C):	47 lb/in ²
Densidad de vapor (aire = 1):	1.8814 Kg/m ³
Temperatura de autoignición:	900 a 1,020 °F = 882 a 1,002 °C
Temperatura de fusión (°C)	-135°C (butano) y -187.1°C (propano)
Densidad relativa.	0.51 (agua = 1) y 1.53 (aire = 1)
Solubilidad en agua.	6.5 mL en 100 partes de agua. Propano, (Baja). El butano es insoluble en agua.
Estado físico, color y olor:	Gas a 20 °C y a una atmósfera de presión, inodoro.
Punto de inflamación.	-156 °F (propano) y -132 °C (propano)
Por ciento de volatilidad	50 % con formación de aerosol.
TLV 8 horas	800 ppm o 1900 mg/m ³ (Butano)
Viscosidad	0.0085 centipoises (propano)
Poder Calorífico Bruto	21,591 BTU/lb

De acuerdo con la NOM-STPS-010/94 del Reglamento General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, no están reportados los valores de IDLH ni el TLV 15. Sin embargo establece los siguientes criterios:

No.	COMPUESTO	CPT		CCT	
		ppm	mg/m ³	ppm	mg/m ³
311	GAS LICUADO DE PETRÓLEO	1,000	1,800	1,250	2,250

CPT: Concentración Ponderada en el Tiempo (8 horas de exposición)
CCT: Concentración para Exposición de Corto Tiempo.

Los hidrocarburos alifáticos de bajo peso molecular (especialmente el metano y etano) son asfixiantes con efectos mínimos irritantes y sistémicos. En estudios de toxicidad, a concentraciones menores al 15% producen sensibilización miocárdial y disritmias en animales expuestos al n-butano, isobutano o propano.

A continuación se indican algunos efectos toxicológicos:

BUTANO. Hidrocarburo de bajo peso molecular, es un asfixiante simple que causa toxicidad debido al desplazamiento del oxígeno. No se ha podido relacionar directamente los efectos sistémicos debido a la inhalación del butano en instalaciones industriales. Las dosis potencialmente altas pueden afectar las vías bajas del tracto respiratorio.

Se reporta un caso de un hombre de 19 años con infiltración bilateral pulmonar detectada radiológicamente, consistente en pneumonitis hidrocarbonada después de laborar como "tragafuegos", al expeler e incendiar gases de butano en una flama abierta. Por otra parte una niña de 2 años de edad mostró hipotensión y taquicardia ventricular recurrente después de exposición accidental a un spray que contenía n-butano, isobutano y propano. La exposición a 10,000 ppm (1%) en 10 minutos produce somnolencia pero ningún otro efecto sistémico. El olor del butano no es detectable a concentraciones menores de 5,000 ppm (0.5%).

PROPANO. Al igual que el butano, es un hidrocarburo alifático de bajo peso molecular que es primordialmente un simple asfixiante. En altas concentraciones,

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

el propano es un narcótico moderado que deprime los sentidos. El standard para Estados Unidos es de 1,000 ppm (TWA). Un incidente con propano fue la asfixia y muerte después de ser inhalado dentro de una bolsa de plástico sobre la cara. En la autopsia, se encontraron elevadas concentraciones de propano en el cerebro, hígado, pulmones, sangre y riñón. Sin embargo, no se pudo establecer las causa precisa de su muerte, al comparar la disritmia con la hipoxia. A una breve exposición a 10,000 ppm (1%) no causa sintomatología en humanos y su olor no es detectable debajo del 2% y al 10% no causa irritación en ojos, nariz o tracto respiratorio, pero produce leves mareos en pocos minutos.

Ninguno de los dos gases tiene ninguna actividad carcinogénica, ni tóxica, son considerados asfixiantes. Sus productos de combustión son: CO, CO₂, SO₂ y H₂O. Dentro de las propiedades inflamables se tiene el valor del Límite Superior de Inflamabilidad de 9.6 (%) y un Límite Inferior de 2.4 (%).

Por otra parte y en relación a sus propiedades de Reactividad, Corrosividad, Estabilidad y Compatibilidad, el Gas L.P. no tiene ninguna actividad química espontánea ni reacciona con el agua, sólo pueden existir choques térmicos cuando entran en contacto. Tiene una Corrosividad ligera o poco significativa, debido a la presencia de azufre en los mercaptanos adicionados.

6.2. Descripción de las Instalaciones para el almacenamiento y distribución de Gas L.P.

Antes de dar inicio a la descripción de la infraestructura física de la Planta de Almacenamiento de Gas L.P. es conveniente mencionar la Normatividad vigente, a fin de que conocer los lineamientos a que deben de estar obligados este tipo de empresas:

Cuadro 21. Normas Oficiales Mexicanas relativas al manejo de Gas L.P.

NORMA	DESCRIPCIÓN DE LA NORMA
NOM-001-SEDG-1996	"Plantas de almacenamiento para gas L.P. Diseño y Construcción".
NOM-001-SEMP-1994	"Relativas a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía".
NOM-021/1-SCFI-1993	"Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Tipo no portátil. Requisitos generales"
NOM-021/2-SCFI-1993	"Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Tipo no portátil destinados a plantas de almacenamiento para distribución y estaciones de aprovisionamiento de vehículos"
NOM-021/5-SCFI-1993	"Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Para transporte de Gas L.P."
NOM-018/1-SCFI-1993	"Distribución y consumo de Gas L.P. Recipientes portátiles y sus accesorios. Parte 1. Recipientes"
NOM-088-SCFI-1994	"Válvulas de servicio con y sin dispositivo de máximo llenado para usarse en recipientes de gas L.P. Tipo no portátil"
NOM-089-SCFI-1994	"Válvulas de retención para uso en recipientes no portátiles para gas L.P."
NOM-092-SCFI-1994	"Indicadores de nivel para gas Licuado de Petróleo y amoniaco anhidro"
NOM-098-SCFI-1995	"Semirremolque para el transporte de gas L.P. Revisión periódica de sus condiciones"
NMX-X-25-1992	"Válvulas de llenado para uso de recipientes tipo no portátil para gas L.P."
NMX-B-10-1986	"Productos siderúrgicos. Tubos de acero al carbón con o sin costura, negros o galvanizados por inmersión caliente"
NMX-CH-26-1967	"Calidad y funcionamiento de manómetros para gas L.P. y natural"
NMX-L-1-1970	"Gas Licuado de Petróleo"
NMX-X-13-1965	"Válvulas de retención para uso en recipientes no portátiles para gas L.P."
NMX-X-29-1985	"Gas L.P. Mangueras con refuerzos de alambres o fibras textiles"
NOM-001-SEDG-1996	"Plantas de almacenamiento para gas L.P. Diseño y Construcción"
NMX-X-31-1983	"Instalaciones de gas natural o L.P. vapor y aire. Válvulas de paso"
NOM-001/2-SEDG-1997	"Plantas de almacenamiento para gas L.P. Sistema de protección por medio de envolvente termo-mecánica para tanques de almacenamiento. Diseño y construcción"

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

Infraestructura. La planta bajo estudio cuenta con un tanque de almacenamiento para Gas L. P. de 125,000 L volumen/agua, soportado por muros de concreto e interconectados para carga y descarga con tubería para alta presión sin costura acoplada con válvulas de desfogue de 4 in; el área de almacenamiento está delimitada por una guarnición perimetral y una barda que separa el área de llenado donde se encuentran las llenaderas que funcionan por medio de una bomba, cada una cuenta con una manguera que se acopla a los tanques portátiles que se colocan sobre básculas, esta área cuenta con un techado de lamina galvanizada, equipo de iluminación a prueba de explosión y carros de reparto de tanques cilíndricos.

Tanque de Almacenamiento. La Planta cuenta con un sólo tanque de 125,000 L volumen/agua, especiales para el almacenamiento de Gas L.P., de tipo cilíndrico horizontal, localizado en la parte central del terreno a la intemperie y que cumple con las distancias reglamentarias especificadas por la NOM-001-SEDG-1996, (Plantas de almacenamiento para gas L.P. Diseño y Construcción); el tanque de almacenamiento se ubica a una altura de 1.80 m., sobre el nivel del piso. El recipiente esta montado sobre bases de concreto de manera que este puede desarrollar libremente los movimientos de *constricción* y *dilatación*.

Se encuentra ubicado dentro de una zona de protección construida con muro de concreto de 0.20 m. de ancho por 0.90 m. de altura por la parte interna; el tanque está nivelado por su parte superior (domo) y cuentan con una altura de 1.70 m., medida de la parte inferior al nivel del piso terminado, se tiene instalada una escalera y pasarela para tener acceso a la parte superior del tanque, también se cuenta con una escalerilla metálica para mayor facilidad en la lectura y manejo del instrumental. Asimismo tiene tres válvulas de seguridad de 4 in con tubos de desfogue de 1.80 m; toda la zona se encuentra pavimentada con cemento.

Las características físicas de los tanques de almacenamiento que deben ser del conocimiento del personal de la empresa son las siguientes:

Norma	NOM-021/2-SCFI-1993, "Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Tipo no portátil destinados a plantas de almacenamiento para distribución y estaciones de aprovisionamiento de vehículos"
Capacidad en L/agua	85% del volumen total en L
Diámetro total	15.57 m
Diámetro interior	3.378 m
Forma de cabezas	Semiesféricas
Espesor de lamina cuerpo	16.588 mm
Espesor lamina cabezas	9.525 mm
Factor de seguridad	4
Presión de trabajo	14 kg./cm ²
Soldaduras	Arco Eléctrico
Eficiencia de soldadura	85%

Además, cuenta con los siguientes accesorios:

- Un medidor rotatorio para nivel de líquido.
- Un termómetro de -60 °C a 50 °C de 0.4 mm de diámetro.
- Un manómetro de graduación de 9 - 21 Kg./cm² de 0.4 mm., de diámetro.
- Dos válvulas de máximo llenado, modelo 3165 de 6.4 mm., de diámetro.
- Dos válvulas de exceso de flujo para líquido, modelo 3292 de 50.8 mm de diámetro con capacidad de 100 gal/m.
- Una válvula de exceso de flujo para líquido, modelo 3292-C, de 51.7 mm., de diámetro, con capacidad de 50 gal/m.
- Dos válvulas de exceso de flujo para vapor modelo 3282-C de 31.7 mm., de diámetro con capacidad de 50 gal/m.
- Una válvula de seguridad multiport de 110 mm. de diámetro, A8574-g., con 4 válvulas de seguridad.
- Un tapón de acero cédula 80 de mm., de diámetro de A. P.
- Una conexión soldada al tanque para tierra, la que consiste en un alambre de cobre desnudo unido a una varilla de cobre enterrada (Copperweld).
- Válvulas de seguridad ubicadas en la parte superior del tanque con tubos de descarga de un diámetro de 4", cédula 40 y a 2.00 m. de altura.

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

El tanque debe estar pintado de color blanco esmalte brillante con cabezales rojos, indicando la capacidad total en L; en su parte media debe presentar el nombre de la empresa en caracteres mayores de 10 cm.

Tanques Portátiles.

Se entiende por recipiente portátil el envase metálico que por su peso y dimensiones se puede mover a mano, facilitando su llenado con Gas L.P., su fabricación obedece a la norma NOM-018/1-SCFI-1993, (Distribución y consumo de Gas L.P. Recipientes portátiles y sus accesorios. Parte 1. Recipientes), y se ubica dentro del tipo 1 (común). Los tanques son de diferentes capacidades de 20, 30 y 45 kg., y de acuerdo a las siguientes especificaciones:

- a) Sección cilíndrica: La unión longitudinal de la lámina usada en la fabricación de la sección cilíndrica cuenta con una bayoneta soldada, con un traslape de longitud igual a 3 veces el espesor nominal de la lámina como mínimo, a fin de ensamblarse con los casquetes superior e inferior, respectivamente.
 - b) Casquete superior e inferior: son de forma semielíptica con relación de ejes igual a dos y con un faldón recto de 20 mm, de altura, como mínimo.
- Brida: Es de acero maquinado, troquelado o forjado, y la parte superior del cuello puede ser cónica o cilíndrica. El roscado de la brida para la introducción de la válvula es el que se establece en la Norma NOM-018/1-SCFI-1993.
 - Cuello protector de forma cilíndrica con rebordeado en su parte superior, fabricado de lámina comercial, con un cierre de 3 puntos de soldadura, con dos ventanas iguales diametralmente opuestas. El área de los dos orificios no es mayor al área de un rectángulo de 110 X 150 mm, ni menor que la de un círculo inscrito de 100 mm \pm 5 mm., de diámetro. Esta pieza debe presentar un corte limpio, sin rebaba. El diámetro exterior del cuello es de 200 mm. La altura es tal que permite un libramiento de 30 mm, mínimo, entre la parte superior del cuello y el volante de la válvula, estando ésta abierta. El rebordeado del cuello es de 3.92 rad (225°), con una tolerancia de \pm 0.261 rad (\pm 15°), fijo y con su eje

concéntrico al del recipiente por medio de cuatro cordones de soldadura de 20 mm, de longitud como mínimo, equidistantes entre si.

- Base de sustentación: Es un tira circular rebordeada en su parte inferior a 3.92 rad (225°), con una tolerancia de ± 0.261 rad ($\pm 15^\circ$), fabricada de lámina comercial, con un cierre a base de soldadura total. El diámetro exterior de la base de sustentación es de acuerdo con las dimensiones establecidas y su altura permite un libramiento de 40 mm, con una tolerancia de ± 5 mm, entre la parte inferior del casquete y el extremo inferior de dicha base. La base de sustentación tiene cuatro orificios circulares con un diámetro de 19.1 mm, equidistantes entre si, estando localizados en la mitad de la altura de dicha base. La base de sustentación se fija al casquete inferior del recipiente por medio de cuatro cordones de soldadura de 60 mm, de longitud, uno de ellos forma una T con la soldadura vertical de la misma base.
- Accesorios de control de seguridad: Válvulas para recipientes portátiles de Gas L.P., es la válvula de paso que abre y cierra mediante operación manual, utilizada para llenar o vaciar el recipiente y que cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-018/1-SCFI-1993. Esta válvula esta diseñada para trabajar o instalarse exclusivamente en la zona de vapor del recipiente. El roscado para la introducción en la brida del recipiente, es el correspondiente a la tubería de 19.05 mm, con una capacidad de 6.25% y 5.5 hilos por centímetro. El cuerpo o carcasa de la válvula tiene dos superficies planas diametralmente opuestas que sirven de apoyo a la herramienta utilizada para introducirla en la conexión roscada de la brida del recipiente. El roscado para la conexión de salida es interno, izquierdo, paralelo con ajustes de asiento cónico sin empaques.
- Válvula de seguridad: Es el dispositivo insertado en el cuerpo de la válvula sirve para proteger el cilindro en caso de una sobrepresión. Consta de asiento obturador y tapón. El asiento contiene el orificio de descarga, el obturador es accionado por un resorte, y el tapón es el retén calibrador y escape. La relevación de esfuerzos residuales queda sujeta a verificación por la Dirección General de Normas de la SECOFI.

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

- Hermeticidad: Los recipientes ya con la válvula instalada, no deben presentar fugas al ser sometidos a una presión neumática de 0.686 Mpa (7 Kgf/cm²) como mínimo, según NOM-X-14.
- Presión hidrostática: Al elevar la presión a 2.06 MPa (21 kgf/cm²) y 2.74 MPa (28 kgf/cm²) los recipientes no deben presentar fugas, conforme a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-X-14.

Autostanque.

Su fabricación obedece a la Norma Oficial Mexicana NOM-021/2-SCFI-1993, "Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Tipo no portátil destinados a plantas de almacenamiento para distribución y estaciones de aprovisionamiento de vehículos" y su clasificación queda comprendida en el tipo 3, donde la presión de diseño es de 1.3 Mpa (14 kgf/cm²), destinada a contener Gas L.P. de alta presión. Un autotanque esta constituido generalmente por un recipiente para contener Gas L.P. montado en un chasis, con todos los accesorios de control, seguridad y operación que requieren para entregar Gas L.P. en el domicilio de usuarios. El equipo de accesorios de control y seguridad de los autostanque deben de cumplir con la NOM-098-SCFI-1995, "Semirremolque para el transporte de Gas L.P. Revisión periódica de sus condiciones".

Maquinaria.

Se debe contar con una bomba de engranes de desplazamiento positivo, para el suministro a tanques portátiles, con capacidad de 265 L/min (70 g.p.h.) acoplada por medio de una conexión directa a un motor a prueba de explosión de 5 H.P. y un compresor para la descarga de autotransportes, con motor a prueba de explosión de 5 H.P. acoplados con una banda.

Debe de contar con los siguientes accesorios:

1. Anclaje.- Se encuentran montados sobre bases de concreto armado de 80 cm, de altura, por la longitud que ocupa la bomba y el motor, ambas se encuentran conectadas a la red de tierra física.
2. Conexión.- Están instaladas al sistema, por medio de tuberías, la bomba cuenta con copetes flexibles en la tubería de alimentación para absorber vibraciones, además cuenta con filtros para protegerlas de materiales sólidos que pueden perjudicar su mecanismo.

Sistema de distribución y suministro

1. Tuberías.- Se utiliza tubería de acero al carbón, según Norma Oficial de calidad DGN-B-10-1966, grado "A", de cédula 80, con conexiones roscadas.
2. Conexiones.- Son de acero forjado para resistir presiones de ruptura de 140 kg/cm², roscadas.
3. Mangueras.- Son de material sintético (neopreno reforzado con doble malla de acero y en algunos casos de malla textil resistentes a la flama y a la acción del Gas L.P., para resistir presiones de ruptura de 140 kg./cm².
4. Instalación.- Todas las tuberías que integran el sistema, corren en desnivel visibles, a nivel de suelo, soportadas por medio de tubos con abrazaderas metálicas, las tuberías que alimentan las tomas de carga y descarga corren a desnivel dentro de una trinchera de concreto protegidas con rejillas metálicas, dichas tuberías están pintadas con los colores distintivos reglamentarios con pintura anticorrosiva.
5. Diámetro de las tuberías.

Líneas para líquido	50.8, 37.7 y 12.7 mm.
Líneas para vapor	50.8, 37.6 y 12.7 mm.

Las mangueras que se utilizan para efectuar las maniobras de carga y descarga de autostanque, transportes y carga de cilindros portátiles, están protegidas

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

contra golpes, dobleces y contra el intemperismo. Las líneas se encuentran pintadas con los colores reglamentarios:

COLOR	CONCEPTO
Rojo	Líneas de líquido.
Verde	Líneas de retorno de líquido.
Amarillo	Líneas de vapor.
Azul	Agua.
Negro	Corriente eléctrica.

- 6 Múltiple de llenado de Tanques portátiles.- Consiste en una tubería general alimentada por la bomba, el múltiple de llenado se ubica en un extremo del andén de llenado a una altura de 2.5 m., sostenido por tubos empotrados, el múltiple también se encuentra aterrizado a la red de tierra.
7. Llenaderas.- Las llenaderas están hechas de acero y mangueras, parten del múltiple y en su extremo cuentan con válvulas de cierre rápido, las mangueras tiene una longitud apropiada para el manejo de modo que se eviten dobleces, cada toma de llenado cuenta con una báscula electrónica de plataforma con capacidad de 250 Kg. y conectadas a tierra.

Controles manuales y automáticos.

Manuales.- Son de Globo con cuerpo de acero forjado, con doble asiento de teflón, sus especificaciones son para presión de trabajo de 28 kg./cm², su función es el seccionamiento de los flujos de Gas L.P. y para el control de salidas y entradas en las tomas y tanque, así como para el llenado de cilindros portátiles.

Automáticos.- Son específicamente para el alivio de presión hidrostática, utilizan 12 válvulas de seguridad para cerrar el paso de gas en una línea en caso de ruptura, se usan válvulas de exceso de flujo o de no retroceso, están instaladas en las entradas y salidas de gas del tanque de almacenamiento y en los extremos de carga y descarga de autostanque; para alivio de sobrepresiones de trabajo y válvula de retorno automático ubicada después de la descarga de la bomba.

Sistema eléctrico.

La C.F.E. en 220 y 110 Volts, 45 KVA, provee de energía a la planta, utilizando un transformador instalado en un poste de concreto, por medio de crucetas metálicas está aterrizado a tierra y protegido con fusibles y apartarrayos, el suministro de energía esta controlado por un medidor y un tablero general protegido de la intemperie, para la distribución general en la planta, la energía se distribuye en oficinas, iluminación perimetral, bodega, y caseta de vigilancia, en el anden de llenado, zona de almacenamiento, y con iluminación a prueba de explosión.

- Conexión a tierra.- Existe un sistema integral, que interconecta tuberías, tanques de almacenamiento, básculas, etc. a un elemento conductor (tubería Copperweld), dicho sistema transporta la energía estática por medio de un cable desnudo a un deposito de absorción, consistente en dos pozos de 3 metros de profundo donde se colocan tubos de cobre soldable, ahogados en pedacería de carbón y sal.

En las áreas de almacenamiento y dentro de un perímetro de radio de 15.0 m se utilizan instalaciones eléctricas a prueba de explosión clasificada por el código NEMA, como clase I grupo D.

Todos los conductores eléctricos van protegidos dentro de la tubería de acero cédula 40, como máximo 3 conductores en un tubo de diámetro según el calibre de los mismos, se utilizan conductores de trabajo recio.

En la proximidad de cajas de instalación de motores, se encuentran las estaciones, botones, arrancaderas, interruptores y en general donde sea factible la generación de alguna chispa, los que cuentan con sellos tipo "EYS" con polvo químico especial para evitar la propagación de flamas; los motores están protegidos por medio de interruptores provistos de elementos térmicos contra sobrecargas.

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

Edificios y cobertizos.

a) Edificios. En la entrada de la planta se debe ubicar la caseta de vigilancia, las oficinas, vestidores, baños, casa de bombas, taller mecánico y bodega.

b) Cobertizos. Se debe de incluir pequeños cobertizos instalados para cubrir de la intemperie a la maquinaria (bomba y compresora), construidos por materiales incombustibles como son: laminas de asbesto, sobre estructura de fierro y con suficiente ventilación natural por todos los puntos cardinales.

c) Muelle de llenado. El muelle de llenado debe ser construido con materiales incombustibles, piso de concreto a fin de permitir el fácil rodamiento de los cilindros portátiles, base de mampostería con relleno de tierra, techo de lamina acanalada de asbesto, soportado por estructuras metálicas y columnas de concreto. El muelle debe contar con protecciones en los bordes en el área de carga y descarga de cilindros, teniendo este un recubrimiento de hule para evitar las chispas al contacto con la plataforma de los vehículos repartidores.

Todas las construcciones debe ser de tabique, de un nivel, techos de concreto, puertas y ventanas metálicas, todo de material antiinflamable.

d) Estacionamiento. El predio debe contar con un área destinada al estacionamiento de vehículos, con una pendiente apropiada de modo que no exista la posibilidad de formar estancamientos del agua pluvial.

El área de circulación de vehículos también debe estar pavimentada o en su defecto compactada con tierra y piedras, con una superficie suficiente para garantizar las condiciones de seguridad en las operaciones de trasiego.

Rótulos de prevención y colores distintivos.

- El tanque de almacenamiento debe estar pintado de color blanco con esmalte brillante y en sus cabezas un círculo rojo, teniendo inscrito con color negro la capacidad en L de agua y la razón social de la empresa.
- Todas la tuberías deben estar pintadas anticorrosivamente con los colores reglamentarios como son: **Rojo**.- las conductoras de gas líquido, **Verde**.- las

que retornan líquido, **Amarillo** que conduce gas vapor y **Negro**.- los ductos eléctricos, que se muestran visibles.

- El muro de concreto de protección a la zona donde se ubica el tanque de almacenamiento, la isleta y el muelle de llenado deben estar pintados con vivos diagonales de color amarillo y negro.

La planta además debe de contar con distintos letreros con leyendas apropiadas como:

PELIGRO GAS L.P. INFLAMABLE.

SE PROHIBE FUMAR.

SE PROHIBE EL PASO A PERSONAL NO AUTORIZADO.

VELOCIDAD MÁXIMA 10 Km/hr.

Equipo contraincendio. Debe de contar con extinguidores de 9 kg, distribuidos uno en cada tanque de almacenamiento, uno más en la bomba y otro en la compresora, en las tomas de transportes y autostanque y en el muelle de llenado, colocados de tal manera que se tenga un fácil acceso. En el área de la estación de gas debe contar con extinguidores tipo carretilla de 45 kg cada uno y por último en cada bodega y oficina extinguidores clase A.B.C.; en el tablero general eléctrico uno de clase C.

El tanque de almacenamiento debe de contar con un sistema de aspersión, con monitores de riego e hidrantes que cubren en su totalidad el área donde se localiza el tanque de almacenamiento, así como hidrantes y monitores que cubren la totalidad del predio. Recientemente se publicó una propuesta para incrementar las condiciones de seguridad de los tanques de almacenamiento a través de la Norma Oficial Mexicana NOM-001/2-SEDG-1997, (Plantas de almacenamiento para gas L.P. Sistema de protección por medio de envolvente termo-mecánica para tanques de almacenamiento. Diseño y construcción).

6.3. Medidas de Seguridad en el Manejo del Gas L.P.

Dentro de las precauciones que deben ser tomadas en cuenta para el manejo y almacenamiento destacan las siguientes:

- a) Evitar fugas en recipientes, tuberías, equipo de bombeo e instalaciones de llenado y trasvasado, estableciendo un programa de mantenimiento preventivo.
- b) No fumar dentro de la planta.
- c) No permitir el acceso a personal que no intervenga directamente con la operación de la planta en sus áreas de trabajo.
- d) Manejar con precaución y con límite de velocidad dentro de las instalaciones.
- e) Respetar los anuncios de seguridad y áreas restringidas.
- f) Apegarse estrictamente a los procedimientos de operación ya establecidos.

En el caso particular de las especificaciones para el cumplimiento de la regularización de transporte, se debe mencionar que los vehículos de transporte de cilindros y autostanque contendrán el letrero de PELIGRO FLAMABLE GAS L P., así como portar su rombo de peligrosidad; todas las unidades se ajustan al Reglamento de Tránsito Estatal y Federal y a la norma NO.03.0.04 "Tránsito interior de vehículos en instalaciones industriales administrativas y de servicio de Petróleos Mexicanos".

Por otra parte para el caso de tanques de almacenamiento se tienen los métodos y bases de diseño en la capacidad de los sistemas de relevo y venteo del tipo multiválvulas (multiport), con brida para conexión de cuatro pulgadas de diámetro y tres válvulas de alivio de 2.5 con tubos de desfogue de 2 metros de longitud.

La cantidad y capacidad de dichos sistemas de desfogue, se determina de acuerdo a la presión de diseño (14 kg/cm^2), el tamaño de la conexión al tanque y la superficie total del mismo (ft^2). Con los datos anteriores se acude a los catálogos de fabricantes para seleccionar las válvulas o sistemas de relevo adecuado, quien proporciona con tablas la capacidad de dichos sistemas de relevo. Sobre la tubería en donde puede quedar Gas L. P. líquido, por ejemplo

entre dos válvulas de paso, se deben de colocar por norma, válvulas de relevo hidráulico, estas se seleccionan de acuerdo con la máxima presión esperada por expansión térmica del gas licuado contenido.

Dadas las presiones máximas manejadas en estas instalaciones (14 kg/cm^2), las presiones de ajuste de los sistemas de relevo fluctúan entre 17.5 y 19 kg/cm^2 (250 - 275 lb/in^2).

Los equipos en proceso y auxiliares con que se cuenta son:

- Compresor de vapores acoplado a un motor de 5 HP.
- Bomba de llenado con motor eléctrico de 5 HP con capacidad aproximada de 265 L/min (70 gal/min),
- Múltiple llenado de cilindros portátiles con un diámetro 76 mm .
- Llenaderas de acero y manguera con válvulas de cierre rápido y conexión pol.
- Básculas de plataforma y barra con capacidad de 250 kg , una por cada llenadera.

Dentro de las normas de seguridad para captación y traslado del Gas L.P., destacan las siguientes:

- La capacidad total será al 90% de llenado máximo en autostanque.
- Debe tener una línea para drenado de corriente estática.
- Todos los autostanque deben cumplir con los reglamentos de tránsito federales y estatales y la Norma emitida por PEMEX, N0.03.0.04 referente al tránsito de vehículos en instalaciones industriales, administrativas y de servicios de Petróleos Mexicanos, tales como:
 - ✓ Es obligación del operador mantener su vehículo en las condiciones que establecen las normas vigentes para su correcto funcionamiento, especificadas en el capítulo IV de esta norma.
 - ✓ Ningún vehículo debe circular con carga superior a la especificada.

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

La planta debe encontrarse alejada de los asentamientos humanos y con una zona de amortiguamiento, donde en caso de existir cualquier evento extraordinario, no cabría la posibilidad de generar algún daño a la población.

6.4. Descripción del Proceso de Manejo del Gas L.P. (Almacenamiento, Distribución y Transporte).

Dentro de las características generales se puede mencionar que se trata de una planta de envasado de Gas L.P., en cilindros portátiles para consumo doméstico, a una capacidad máxima del 85%; no existe un proceso de transformación industrial del Gas L. P. ya que este es descargado, almacenado y distribuido en las áreas de consumo en la misma forma.

Manejo y Almacenamiento del Gas L.P.

El butano es gas a temperatura ordinaria y se emplea fundamentalmente como combustible, envasado en recipientes de acero a alta presión; las condiciones de operación son :

Temperatura extrema de operación:	Temperatura ambiental (20 °C).
Presión:	4 lb/in ²
Estado físico:	Líquido.

El proceso de operación dentro de las instalaciones tiene las siguientes acciones:

Descarga de los autostanque.

La planta recibe el gas L.P. mediante autotransportes con capacidad de 45,000 L al 100%, se requiere un tiempo de 2.5 hrs (150 min) para ser descargado. Los autotransportes contienen un volumen máximo al 90% de su capacidad, por lo que contienen 40,000 L (10,700 galones). De esta forma el gasto de la descarga es 4,500 L/150 min (10,700 gal/150 min) o sea 270 L/min (71.43 gal/min).

Existe un área de descarga, de concreto armado, que aloja tuberías de carga y descarga, para líquido y vapor las cuales salen de la zona de protección del tanque y están bajo trincheras en la parte media; se trata de una isla para protección contra choques metálicos y operaciones inadecuadas en las maniobras de trasiego, se encuentra protegida con viguetas de acero fuertemente empotradas; cada toma cuenta en su extremo con válvulas de paso de acción manual, válvulas de exceso de flujo y adaptadores a las mangueras de trasiego.

El personal de descarga revisa el espacio disponible del tanque de almacenamiento, al llegar a la planta el transporte es recibido por el personal de descarga. El operador del transporte se registra y entrega a solicitud del descargador, el documento emitido por PEMEX que ampara la carga; se revisa dicho documento para enterarse del % contenido en el transporte, también verifica la presión del recipiente se indica al operador donde debe estacionarse. Se asegura que la unidad este totalmente estática, con el motor apagado y el freno de estacionamiento colocado, toma las lecturas del % del contenido y presión. Se colocan las cuñas metálicas; en por lo menos dos de las ruedas para asegurar la inmovilidad del vehículo; coloca el cable de aterrizaje estático con pinzas de caimán.

Acopla la manguera del líquido de 51 mm. misma que esta conectada a la tubería de mayor diámetro y color rojo. Cada válvula de globo es purgada en donde conecta la manguera del líquido, para lo cual usa la válvula de la manguera del transporte.

El descargador no se retira del sitio y verifica constantemente el porcentaje de contenido del autotanque. Una vez llenado el tanque de almacenamiento el cual no debe ser mayor al 85 %, apaga la bomba y cierra las válvulas, retira la manguera, cuñas metálicas y pinzas de aterrizaje, para, finalmente, indicar al conductor que la unidad puede salir de la planta.

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

Procedimiento de llenado de autotanque.

El operador estaciona el autotanque en el área de carga donde el llenador sigue la secuencia de operaciones siguientes:

- Verifica que las llaves de encendido del motor del autotanque no estén colocadas en el switch de encendido.
- Verifica que se encuentren colocadas correctamente las cuñas metálicas en las llantas traseras del vehículo y la pinza del cable de aterrizaje.
- Revisar, utilizando el medidor rotatorio, el porcentaje de gas que tiene el autotanque (contenido con el que regreso de ruta).
- Calcular la cantidad de gas que habrá de suministrarle al autotanque, para que éste quede al 90% de su capacidad.
- Colocar la palanca indicadora del medidor rotatorio en el nivel que se desee y dejar la válvula del medidor rotatorio abierta con el objeto de saber el momento preciso en que el llenado ha llegado al nivel deseado.
- Establece continuidad de flujo abriendo las válvulas de corte, desde el tanque hasta el mismo autotanque por llenar.
- Verifica que no existan fugas en las conexiones de la manguera con el autotanque tanto en las líneas que conducen líquido como las de vapor.
- Oprime el botón energizado del motor de la bomba.
- Durante el llenado verifica que se realice con normalidad y por ningún motivo abandonará la supervisión de esta operación.
- Continuamente verificará el porcentaje de llenado del autotanque.
- Cuando se alcanza al volumen deseado del autotanque, el cual no deberá ser mayor del 85% de su capacidad, desenergiza la bomba, para suspender el paso del gas a la unidad.
- Cerrará las válvulas de corte en todo el sistema incluyendo las del autotanque.
- Lentamente desconectará la manguera del autotanque.
- *Retira las calzas de las llantas del autotanque.*

- Revisará en todo su alrededor la unidad, haciendo hincapié que en la presencia de fugas.
- El llenador dará aviso al operador para que retire la unidad y la estacione en el lugar asignado al autotanque o en su caso abandona la planta para su reparto. El operador conduce la unidad en el área de circulación con la precaución debida.

Procedimiento similar se realiza para los autostanque de abasto a tanques estacionarios se estacionan en la isla de llenado, apagan el motor, luces y cualquier accesorio eléctrico, se colocan las cuñas metálicas y el cable de aterrizaje. El llenador verifica su contenido, presión y temperatura, acopla las mangueras de llenado, abre válvulas y arranca la bomba. Al alcanzar el volumen de 85%, apaga la bomba, cierra válvulas, desconecta mangueras, quita cuñas y cable de aterrizaje e indica al operador que puede abandonar las instalaciones.

Los vehículos que utilizan gas como combustible se estacionan en la isla de llenado, el conductor apaga todo sistema de uso eléctrico, se le colocan cuñas y tierra estática y la manguera de carga al vehículo, se dota de combustible hasta el 85%, se desconectan los accesorios instalados y se retira la unidad.

Acceso y procedimiento de llenado de cilindros portátiles.

El vigilante permite el acceso al interior de la planta a los camiones repartidores de gas doméstico y autostanque, verificando que cuenten con el matachispas instalado. El operador estaciona el vehículo en el andén, apaga el motor, radio, luces y otros accesorios y descarga los cilindros vacíos.

Posteriormente el personal de llenado selecciona los cilindros a fin de detectar anomalías o desperfectos en los mismos; aquellos que presenten daños en la base, espiga, capuchón o indicios de corrosión se separan y son enviados al taller de mantenimiento, para su reparación. En caso de encontrarse en condiciones inadecuadas se envían al fondo de reposición de cilindros.

6. Evaluación del Riesgo Ambiental para el Manejo del Gas. L.P.

Los cilindros que se encuentran en buenas condiciones pasan al área de llenado, donde son colocados en su báscula respectiva, se le enrosca la llenadera y se abre la válvula. Cuando alcanza el peso deseado, la válvula se cierra automáticamente, se desacoplan y pasan al área de carga, donde el camión repartidor, que se encuentra vacío, estiba los cilindros llenos. Finalmente sale de la planta para realizar el reparto domiciliario.

Procedimiento de carburación:

Este procedimiento inicia en el momento en que se va a suministrar combustible a cualquier unidad o vehículo de combustión interna, que carburen con Gas L.P.

El operador del vehículo estaciona su unidad en la isla de carburación, en donde el llenador sigue la secuencia de operaciones siguientes:

- Verificar que el motor del vehículo se encuentre apagado, incluyendo autoestereo así como cualquier accesorio del mismo.
- Solicitar al operador las llaves de la unidad, para evitar que ponga en marcha la unidad, una vez que se este suministrando el Gas L.P.
- Proceder a conectar a tierra estática para evitar cualquier descarga eléctrica y coloca la cuña metálica para impedir que la unidad se mueva por inercia.
- Proceder a conectar la manguera de líquido al tanque de carburación, percatándose de que el reloj magnético del tanque marque el nivel de Gas L.P.; en caso contrario, abrirá la válvula al 10% o "purga" para verificar el nivel de Gas L.P. a suministrar.
- Oprimir el botón energizado del motor de la bomba y en este momento se inicia el suministro de Gas L.P. al tanque de carburación.
- Verificar durante el llenado que se realice con normalidad y por ningún motivo abandonar la supervisión de esta operación.
- Una vez que el tanque alcanza el volumen deseado, menor al 85% de capacidad, desenergizar la bomba, para suspender el suministro de gas.

- Cerrar la válvula de cierre rápido y desconectar lentamente la manguera del tanque de carburación.
- Retirá la cuña metálica de la llanta del vehículo.
- Revisará que la manguera de líquido se haya desconectado del tanque de carburación una vez que este apagada la bomba.
- El llenador dará aviso al operador y le entregara las llaves de su unidad, para que pueda retirarse de la planta.
- El operador de la unidad abandonara las instalaciones de la planta.

7. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DEL RIESGO AMBIENTAL EN EL MANEJO DEL GAS L.P.

7.1. Identificación y Evaluación del Riesgo por el Manejo del Gas L.P.

Las condiciones que favorecen un incendio son tres elementos o eventos simultáneos: fuga de combustible, concentración adecuada de O₂ (elemento comburente) y la fuente de ignición. Para una explosión se requiere como mínimo una tonelada de combustible liberado, fuente de ignición y la cantidad estequiométrica de O₂ mezclado con el aire, para producir un evento explosivo.

El Chemical Process Quantitative Risk Analysis del Center for Chemical Process Safety del AIChE, 1989, establece que. "debe existir una masa mínima de material inflamable para que ocurra una transición de incendio (flash fire) a UVCE (Explosión de una Nube de Vapor No confinada) que va de una a quince toneladas, sólo se reportan explosiones no confinadas con 100 kg de material inflamable para las especies más reactivas, como son el hidrógeno y el acetileno". Existe alta probabilidad de fuego cuando se expone ante una fuente de ignición; la explosión es poco probable, ya que se requiere como mínimo una tonelada de material fugado en un espacio abierto, o mediante el excesivo calentamiento del recipiente que lo contiene, aunado a un debilitamiento de las paredes y por lo tanto, una sobrepresión, que no alcanza a ser liberada por las válvulas de venteo. En una planta de almacenamiento de Gas L.P. es muy remota la posibilidad de que se den tales condiciones cuando se cumple con los lineamientos establecidos en las diferentes normas de seguridad emitidas para su operación aunado al hecho de contar con la capacitación del personal, enfocada a procedimientos seguros y mantenimiento adecuado de las instalaciones y equipos.

7.1.1. Lista de Chequeo, o Lista de comprobación.

Arreglo General.

1. Áreas con drenaje apropiado.

El área de servicio para los trabajadores de la planta para cuenta con una descarga a drenaje municipal. Las aguas pluviales se conducen superficialmente por las pendientes, hacia un escurrimiento natural del predio, aguas abajo.

2. Obstrucciones subterráneas peligrosas.

En el predio no existen ductos subterráneos ajenos a la planta.

3. Restricciones peligrosas en lo alto.

A una distancia mayor de 15 m, como marca la Normatividad para plantas que almacenan gas L.P., se encuentran unos cables de distribución de energía eléctrica de baja tensión.

4. Accesos y vialidades adecuadas.

En la entrada a la planta se cuenta con un espacio suficiente para las maniobras de entrada y salida de autostanque y camiones de reparto.

5. Áreas seguras para el almacenamiento de combustibles y materiales peligrosos.

El muelle de llenado de cilindros portátiles esta construido sobre una plataforma con firme de concreto, de 1.5 m. de altura. La plataforma cuenta con techumbre para proteger los cilindros del sol y la lluvia, haciendo menor el deterioro de los mismos debido al intemperismo y la zona de almacenamiento se encuentra delimitada por un murete de 70 cm. de altura.

De igual forma los tanques de almacenamiento están ubicados sobre muros de concreto, que le circundan un muro de contención de 50 cm de altura y alejado del eje del tanque a 25 metros.

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Edificios

1. Escalera de emergencia.

No se necesita porque las oficinas se ubican a una distancia mayor de 15 m de la zona de llenado, carga y descarga de cilindros. En caso de siniestro el personal que se encuentre en el edificio estará en condiciones de retirarse del lugar o bien dirigir desde allí las maniobras de ataque contra incendio.

2. Materiales de construcción adecuados.

Las oficinas están construidas con materiales no combustibles.

Proceso.

1. Procedimientos de operación que impliquen condiciones riesgosas.

Existen dos procedimientos que implican ciertos riesgos: uno es la manipulación de cilindros durante el llenado y las maniobras de descarga de los autostanque.

2. Consecuencias controladas de exposición al riesgo en actividades adyacentes.

Alrededor de la instalación no se realizan actividades de ninguna índole debido a que el predio se ubica en una zona parcialmente aislada.

3 Requiere extracción de vapores o gases.

Sí, se requiere instalar en el tanque de almacenamiento un sistema automático de desfogue de gas, para el caso en que se eleve la presión interna debido a un incremento de la temperatura en el exterior. En condiciones normales de operación no se requiere la extracción de vapores.

4. Procedimiento de operación de los equipos completamente entendida.

Las operaciones de llenado de cilindros y la descarga del autotanque al tanque de almacenamiento no son complicadas, por lo que un programa de capacitación continua y una supervisión estricta son suficientes para su correcta ejecución.

5. Falla mecánica de equipo, posible causa de riesgo.

Las fallas de este tipo que pudieran ocurrir serían en las interconexiones de los sistemas de llenado de cilindros o en el autotanque. La presencia de un accidente se asocia al riesgo de que ocurra una fuga de gas. El personal debe recibir capacitación adecuada con el propósito de evitar mayores consecuencias.

6. Hojas de datos de seguridad para todas las especies químicas.

La planta debe de contar con la hoja de seguridad, así mismo en este trabajo se proporcionan los datos de seguridad para el gas L P.

7. Diagramas del proceso correctos y actualizados.

Los planos de la planta están actualizados, indicando cualquier modificación o adición en las instalaciones.

Equipo.

1. Aislamiento especial para equipo riesgoso.

El equipo riesgoso lo representan los cilindros portátiles de gas L.P., los cuales se encuentran sobre una plataforma con piso de concreto y techumbre, aislada en por lo menos 15 m a la redonda tal como lo marca la Norma Oficial Mexicana para plantas de almacenamiento y distribución de gas NOM-X-58-1993. Así como todas las instalaciones para trasiego en la zona de almacenamiento.

2. Dispositivos de protección.

Los cilindros portátiles para la distribución de gas L.P. cuentan con cuello protector en forma cilíndrica con dos ventanas iguales diametralmente opuestas, válvula de seguridad y de llenado, base metálica de sustentación fija al casquete inferior del recipiente para protegerlos de los golpes durante su manipuleo. Asimismo el autotanque tiene válvulas de exceso de flujo, de no retroceso, de

4. Equipo eléctrico a prueba de explosión.

Todos los elementos del sistema eléctrico en la zona del muelle de llenado y los que se encuentren instalados dentro de un radio de 15 m de esa área, son a prueba de explosión para ambiente de vapores o gases inflamables.

Equipo de seguridad.

1. Extinguidores contra fuego.

Se tienen extinguidores de 9 kg. de polvo químico seco distribuidos en el muelle de llenado así como en las oficinas y zona de almacenamiento. Además se tiene un sistema de aspersión contraincendio.

2. Extinguidores compatibles con material manejado.

Los extintores son de polvo químico seco tipo ABC a excepción de los que se requieren para los tableros de control eléctrico, que son de bióxido de carbono.

Flujo de materiales.

1. Consecuencias de una fuga o derrame.

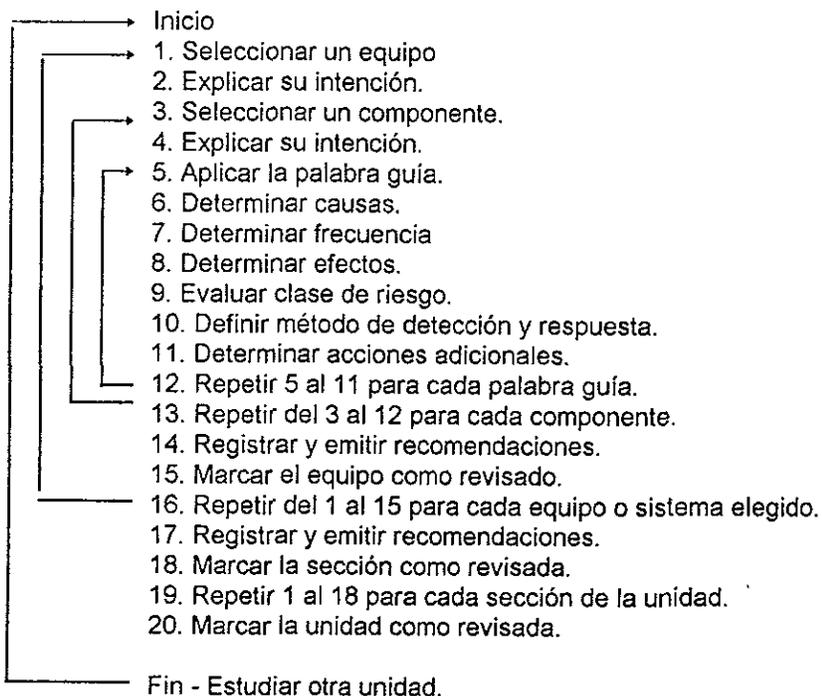
La fuga en un cilindro generalmente se presenta por una pequeña ranura, lo que hace que el flujo de gas emitido sea pequeño y fácilmente dispersado por el aire; en estas condiciones es difícil que ocurra un incendio y mucho menos una explosión.

En el caso de una fuga en el autotanke debido a la rotura de la manguera de descarga, el flujo de gas sería considerablemente mayor. Las probabilidades de que se forme una nube explosiva son reducidas, ya que la cantidad de gas que pudiera fugarse no sería suficiente para formarla. En el sitio del proyecto lo que puede ocurrir en caso de una fuga es la deflagración de la nube dispersa formada, si es que encuentra una fuente de ignición.

7.1.2. Aplicación del método HAZOP.

Para aplicar el procedimiento HAZOP (Riesgo y Operabilidad) en la Evaluación de Riesgos, se deben seguir los pasos indicados en el siguiente diagrama:

DIAGRAMA DE APLICACIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD.



A continuación se presentan los resultados de la aplicación del método HAZOP para identificación de riesgos aplicado a la planta de almacenamiento de Gas L.P., destacando los puntos más importantes dentro de cada una de las etapas involucradas en su manejo.

ANÁLISIS HAZOP

PLANTA: ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.	PAG. 1 DE 4.	FECHA: OCTUBRE DE 1997
SISTEMA: TANQUE DE ALMACENAMIENTO.	UNIDAD/LÍNEA: VALVULAS DE PASO MANUALES Y VALVULAS DE EXCESO DE FLUJO.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO: CONTROLAN EL PASO DEL GAS Y LIBERAN EL EXCESO SI ES NECESARIO.

PARAMETRO	PALABRA GUJA	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	G	REACCIÓN SISTEMA	ACCIONES REQUERIDAS	C
Flujo	Más	Sobrellenado del tanque	Válvulas en mal estado	Fuga de producto	B	Activación de válvulas de desfogue	Mantenimiento constante de las válvulas Supervisión constante durante la descarga	B
Presión	Más	Sobrellenado del tanque	Válvula de paso manual abierta	Fuga de producto	B	Activación de válvulas de cierre automático Activación de válvulas de desfogue	Capacitación del personal Verificación constante de válvulas	B
Volumen	Más	Sobrellenado del tanque	Funcionamiento equivocado del medidor de nivel	Fuga de producto	M	Activación de válvulas de desfogue	Mantenimiento preventivo de accesorios del tanque de almacenamiento Supervisión constante durante la operación	B

G = Grado de Riesgo C = Criticidad A = Alto B = Bajo M = Medio

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

PLANTA: ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.	PAG. 2 DE 4.	FECHA: OCTUBRE, 1987
SISTEMA. TANQUE DE ALMACENAMIENTO.	UNIDAD/LÍNEA: ADAPTADORES A LAS MANGUERAS DE TRASIEGO.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO: SELLAN LA CONEXIÓN PARA LA CARGA Y DESCARGA DE GAS.

PARAMETRO	PALABRA GUIA	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	G	REACCION SISTEMA	ACCIONES REQUERIDAS	C
Presión	Más	Fugas de producto	Adaptadores en mal estado	Acumulación de gas en el área.	A	Activación de válvulas de cierre automático.	<ul style="list-style-type: none"> Mantenimiento periódico de adaptadores. Verificación constante de válvulas 	M

PLANTA: ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.	PAG. 3 DE 4.	FECHA: OCTUBRE 1997.
SISTEMA: ÁREA DE LLENADO (TRASIEGO).	UNIDAD/LÍNEA: AUTOTANQUE.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO: LLENADO DE LOS AUTOTANQUE.

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	G	REACCIÓN SISTEMA	ACCIONES REQUERIDAS	C
Flujo	Más	Sobrellenado de autotanque	Falta de alguna válvula. Falta en los medidores de nivel. Error humano.	Fuga de gas	M	Apertura automática de válvulas de desfogue,	<ul style="list-style-type: none"> • Dar mantenimiento periódico a las válvulas y medidores de nivel. • Establecer programas de capacitación para los trabajadores • Instalar sistemas de alarma audible. 	B

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

PLANTA: ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.	PAG. 4 DE 4.	FECHA: OCTUBRE, 1997
SISTEMA: ÁREA DE LLENADO DE CILINDROS PORTÁTILES	UNIDAD/LÍNEA: LLENADERAS DE CILINDROS PORTÁTILES.	DESCRIPCIÓN DEL PROCESO: LLENADO DE CILINDROS PORTÁTILES A TRAVÉS DE MANGUERAS.

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACION	CAUSAS POSIBLES	CONSECUENCIAS	G	REACCION SISTEMA	ACCIONES REQUERIDAS	C
Volumen	Más	Varacion en el volumen final del cilindro.	Rotura de manguera	Fuga de gas	M	Cierre automatico de válvulas.	<ul style="list-style-type: none"> Instalar sistemas de alarma para fugas de gas. 	B
Electricidad electrostática	Más	Producción de chispas	Tierra física mal instalada o carencia de ella. Accesorios de vehículo encendido	Incendio mayor	A	<p>Cierre automatico de válvulas de llenado.</p> <p>Descarga de la electricidad estática a tierra física.</p>	<ul style="list-style-type: none"> Verificar que todos los vehículos cuenten con tierra física bien instalada Asegurarse que el vehículo y todos sus accesorios estén apagados. 	M

Después de la identificación de los eventos riesgosos, se procede a la evaluación para lo cual existen diferentes herramientas, a través de ecuaciones o software diseñado expreso; los modelos utilizados en este caso se describen a continuación.

Modelo "PUFF". Se ha seleccionado el modelo "PUFF" para una fuga de Gas L.P. porque las condiciones de las fugas se acercan más a este modelo ya que en su ocurrencia, sería una liberación casi instantánea o en pocos segundos, formando una nube concentrada; tal como se establece en el modelado tipo "PUFF".

Es importante notar que no se debe utilizar el modelo de nubes explosivas ya que las cantidades de gas fugado no son suficientes para poder formar una nube explosiva (Chemical Process Quantitative Risk Analysis-CCPS - AIChE, 1989). Sin embargo, las nubes formadas por las fugas son susceptibles de incendiarse, razón por la cual también se realizó un modelado para determinar las distancias a las cuales se tienen diferentes afectaciones por radiación térmica.

Este modelo considera la dispersión de un "PUFF" tridimensional o "burbuja" de gas, formada por la masa de la sustancia inflamable que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos (de manera casi instantánea), tal como la que se tendrá en el caso de ruptura de un recipiente a presión.

Se asume que la dispersión de la nube, o "PUFF", a lo largo de la dirección del viento (eje x) es igual a la dispersión en la dirección lateral (eje y). En este caso el viento interviene como vector de movimiento del "PUFF", condicionando su posición viento abajo del punto de emisión.

Jerarquización de riesgos.

Para jerarquizar los riesgos es necesario analizar su probabilidad de ocurrencia y los efectos ocasionados por el accidente potencial que representan esos riesgos.

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Para tener la probabilidad de ocurrencia de los riesgos es necesario tener un historial de accidentes ocurridos en la planta; dicha probabilidad será estimada en base al análisis de factores como: condiciones generales de las instalaciones, dispositivos de control, flujo de materiales y puntos críticos de operación.

Los riesgos más relevantes identificados en la técnica de identificación de Riesgos "HAZOP", en orden jerárquico en cuanto a la posibilidad de ocurrencia son:

1. Rotura de manguera de llenadera en muelle de llenado de cilindros portátiles. Este evento puede presentarse durante la operación de llenado de cilindros portátiles.
2. Venteo en válvula de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores. Este caso se produciría si la descarga del compresor estuviera cerrada, la válvula de entrada de vapores hacia los tanques de almacenamiento también estuviera cerrada o si existiera un sobrellenado de los tanques.
3. Rotura de manguera de descarga de autotanque. Esto pudiera ocurrir si el autotanque es puesto en marcha con la manguera conectada, por falta de coordinación de operario y conductor.
4. Venteo de válvulas de seguridad en tanques de almacenamiento, a consecuencia de un sobrellenado y/o exceso de presión en el interior del tanque.

Un evento que actúa directamente sobre la calidad del aire, específicamente durante la operación, son las emisiones de gas L.P. que se desprenden durante el llenado, dadas las características del lugar, ausencia de construcciones y la ayuda del viento hace que se dispersen rápidamente las fugas ocasionales presentes, evitando su concentración.

Para obtener esta jerarquización se consideraron además varios criterios como el área de afectación, el volumen de gas y tiempo de liberación, los cuales fueron calculados de la siguiente forma:

Evento 1. Fuga por rotura de manguera de llenadera en muelle de llenado de cilindros portátiles.

En este caso la fuga se presentaría a través de un línea de conducción, donde debido a que el gas se encuentra a una presión arriba de su punto de ebullición, el modelo aplicable es el correspondiente a un flujo de un líquido que instantáneamente se convierte en vapor, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{Flujo} = q = A \cdot C_o \cdot [2(R_o) (G) (P - P_{SAT})]^{1/2}$$

$$\text{Área de la fuga } A = 0.000766 \text{ ft}^2 = 0.00007116 \text{ m}^2$$

$$\text{Coeficiente de descarga } C_o = 0.61$$

$$\text{Densidad del gas licuado de petróleo } R_o = 0.53 \text{ g/mL} = 530 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Presión interna en llenadera } P = 7 \text{ kg/cm}^2 = 686616 \text{ Pa}$$

Presión de saturación del gas Butano a 22 °C

$$P_{SAT} = 33.92 \text{ psi} = 233048 \text{ Pa}$$

Por lo tanto:

$$q = (0.00007116) (0.61) [(2) (530) (1) (686616 - 233048)]^{1/2}$$

$$\text{Flujo de la fuga} = q = 0.951 \text{ kg/s}$$

Por otra parte se estima que el tiempo de respuesta para atender la emergencia y cerrar la válvula es de 10 s, por lo tanto:

$$\text{Masa total de gas fugado } q_t = (0.951 \text{ kg./s}) (10\text{s}) = 9.51 \text{ kg}$$

Los datos para realizar la modelación mediante el Programa SIRIA, se indican a continuación:

$$\text{Masa total emitida } q_t = 9.51 \text{ kg}$$

$$\text{Altura física de la fuga} = 1.70 \text{ m}$$

Radio del recipiente = 1.06 m obtenido considerando un volumen de un recipiente esférico con un volumen igual al que ocupan los 9.51 kg

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

$$\text{Vol. esfera} = (4/3) \pi r^3 ; r = \{(\text{vol} / ((4/3)(3.1416)))\}^{1/3}$$

$$\text{Densidad del gas} = 1.8314 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Conc. de interés} = 55828 \text{ mg/m}^3$$

$$\text{Velocidad del viento} = 4.1 \text{ m/s}$$

$$\text{Estabilidad} = B \text{ (Inestable)}$$

Cuadro 22. Resultados del Modelo de Simulación "PUFF" para la fuga por rotura de manguera en el muelle de llenado.

Masa emitida (kg)	Distancia de la conc. de interés (m)	Tiempo de la conc. de interés (s)	Conc. a 10 m de distancia (mg/m ³)	Radio eq. del recipiente (m)
9.51	10	2	54866	1.06

Evento 2. Venteo en válvula de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores.
Se tienen los siguientes considerandos: la conexión de la válvula es de 3/4 de pulgada, de diámetro, donde existen las siguientes especificaciones para la selección de las válvulas de venteo:

Presión de ajuste (psig)	Diámetro de la conexión	Capacidad SCFM AIR	Tiempo estimado de relevo (s)	Volumen desfogado (ft ³)
250	3/4"	2060	30	1030
			60	2060

Se considera que la descarga es continua durante 30 y 60 segundos formándose una nube de Gas L.P., la cual puede ser modelada mediante el simulador "SIRIA"; seleccionando el modelo "PUFF" para una fuga.

El Modelo de "PUFF" para una fuga de este tipo se utiliza para determinar la distancia de afectación en la cual se tiene una cantidad de Gas capaz de incendiarse. En este

caso la concentración que interesa es aquella en la cual se alcanza el límite inferior de inflamabilidad, ya que el mayor peligro del gas lo representa un incendio.

La concentración de interés entonces será:

Límite inferior de inflamabilidad = 2.4% = 24,000 ppm

Concentración $\text{mg}/\text{m}^3 = \text{ppm} / [0.08205 (T/(P \cdot M))]$

T = Temperatura ambiente ($^{\circ}\text{K}$)

P = Presión atmosférica (atm)

M = Peso molecular del gas butano (g/g-mol)

$\text{mg}/\text{m}^3 = 24000 / [0.08205 (302 / (0.9938 \text{ atm}) (58))]$

Concentración de interés = $\text{mg}/\text{m}^3 = 55,828 \text{ mg}/\text{m}^3$

Masa emitida de Gas L.P. en 60 s.:

$W = (2060 \text{ ft}^3)(\text{m}^3/35.31 \text{ ft}^3) (1.8814 \text{ kg}/\text{m}^3) = 109.76 \text{ kg}$

Masa emitida de Gas L.P. en 30 s:

$W = (1030 \text{ ft}^3)(\text{m}^3/35.31 \text{ ft}^3) (1.8814 \text{ kg}/\text{m}^3) = 54.88 \text{ kg}$

Radio equivalente del recipiente:

Radio de una esfera = $r = (3 v / 4 \pi)^{1/3}$

Para una fuga de 60 s

$$r = [3 (2060 \text{ ft}^3)(\text{m}^3/35.31 \text{ ft}^3) / 4 (3.1416)]^{1/3} =$$

$$r = 2.4 \text{ m}$$

Para una fuga de 30 s

$$r = [3 (1030 \text{ ft}^3)(\text{m}^3/35.31 \text{ ft}^3) / 4 (3.1416)]^{1/3} =$$

$$r = 1.9 \text{ m}$$

Cuadro 23. Resultados del Modelo de Simulación "PUFF" para el Venteo en válvula de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores.

Masa emitida (kg.)	Distancia de la concentración de interés (m)	Tiempo de la concentración de interés (s)	Concentración a 10 m de distancia (mg/m^3)	Radio equivalente del recipiente (m)
54.88	30	6	423482	1.9
109.76	40	8	846965	2.4

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Evento 3. Rotura de manguera de descarga de autotanque.

En caso de rotura de esta manguera el volumen fugado es igual al volumen de la línea, ya que del lado del tubo de llenado de tanques existe una válvula de no retroceso, al igual que del lado de la válvula de descarga del autotanque.

De tal manera que al evaporarse la masa líquida de gas L.P. se formaría una nube, la cual se puede considerar como un "PUFF":

Longitud de la manguera = 6.5 m

Diámetro de la manguera = 3 in.

Volumen de la manguera = $0.03 \text{ m}^3 = 30 \text{ L}$ de gas L.P. líquido

Peso del gas L.P. = $517 \text{ kg/m}^3 \cdot (0.03 \text{ m}^3) = 15.51 \text{ kg}$ de líq.

La concentración de interés es 55828 mg/m^3

La velocidad del viento es de 4.1 m/s

La estabilidad atmosférica se considera como B (INESTABLE)

Radio eq. del recipiente:

$$\text{Vol. de gas} = 15.5 \text{ kg.} / 1.8814 \text{ kg./m}^3 = 8.24 \text{ m}^3$$

$$\text{Radio de una esfera} = r = (3 v / 4 \pi)^{1/3} =$$

$$r = [3 (8.24 \text{ m}^3) / 4 (3.1416)]^{1/3} =$$

$$r = 1.25 \text{ m}$$

Cuadro 24. Resultados del Modelo de Simulación "PUFF" para la Rotura de manguera de descarga de autotanque.

Masa emitida (kg.)	Distancia de la concentración de interés (m)	Tiempo de la concentración de interés (s)	Concentración a 10 m de distancia (mg/m^3)	Radio equivalente del recipiente (m)
15.5	20	3	127983	1.25

Evento 3-a. Incendio de masa de gas fugada en evento 3.

En el evento 3 se considera que existe la mayor probabilidad de que la nube de Gas L.P. pueda encontrar una fuente de ignición, debido a la altura a la cual se presenta y a la dirección horizontal de la fuga, de donde se encontrará más cerca del nivel de piso que en los otros tres eventos.

Por lo anterior se modelará un evento representado por un incendio de la masa gaseosa fugada en el evento 3 "Rotura de manguera de descarga de autotank":

En este caso se utilizará el procedimiento API-RP-521, mediante el cual se determina la distancia a la cual se tendrían niveles de radiación térmica de 1500 y 500 BTU/hr ft²; con las afectaciones indicadas en la tabla de tolerancias presentada posteriormente.

Primero es necesario obtener el área de la nube incendiada a partir del volumen liberado de Gas L.P. para este evento, que es de 8.24 m³ se considerará que la nube incendiada es de forma cilíndrica, con altura 1 m y de área igual a:

$$\text{área} = \text{volumen/altura} = 8.24 \text{ m}^3 / 1 \text{ m} = 8.24 \text{ m}^2$$

Determinación del calor liberado:

Cantidad de gas quemado por unidad de tiempo:

$$W = Vq \cdot \text{área de la nube} = (0.099 \text{ kg./m}^2 \text{ s}) (8.24 \text{ m}^2)$$

$$W = 0.81576 \text{ kg./s} = 6475.5 \text{ lb/hr}$$

Calor producido:

$$Q = Hc \cdot W$$

Hc = Calor de combustión gas L.P.

$$Q = (21591 \text{ BTU/lb}) (6475.5 \text{ lb/hr}) = 1.398 \times 10^8 \text{ BTU/hr}$$

La ecuación para determinar la distancia de afectación es:

$$D = (\delta F Q / 4 \pi K)^{0.5}$$

Donde:

D = Distancia de un punto medio de la flama a un punto de interés (ft)

δ = Fracción de la intensidad de calor transmitida (s/u)

F = Fracción de calor irradiado por la flama abierta (s/u)

Q = Calor total liberado (BTU/hr ft²)

K = Nivel de radiación de interés o nivel de tolerancia (BTU/hr ft²)

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Para determinación de la fracción de intensidad (δ), se sabe que depende de la humedad relativa en el sitio del proyecto, que en este caso es de 55%.

Del API-RP-521 se tienen que:

$$\delta = 0.79 (100/r)^{0.0625} (30.5/d)^{0.0625}$$

donde:

r = Humedad relativa (%)

d = Distancia desde la flama hasta el objeto iluminado (m), d = 10 m.

$$\delta = 0.79 (100/55)^{0.0625} (30.5/10)^{0.0625} = 0.8792$$

La fracción de calor irradiado por la flama abierta (F) es:

- Para la combustión de hidrocarburos F = 0.35

- Para la combustión de materiales incluyendo hidrocarburos, con desprendimiento de demasiado humo F = 0.26

Para un nivel de radiación de 1,500 BTU/hr ft² :

$$D = (\delta F Q / 4 \pi K)^{0.5}$$

$$D = \{[(0.8792)(0.35)(1.398 \times 10^8)] / [(4)(3.1416)(1,500)]\}^{0.5} =$$

$$D = 47.77 \text{ pies} = 14.56 \text{ m}$$

$$D^2 = x^2 + y^2$$

$$x = (D^2 - y^2)^{0.5} = (14.56^2 - 2^2)^{0.5} = 14.42 \text{ m}$$

$$D_a = 14.42 \text{ m.}$$

Para un nivel de radiación de 500 BTU/hr ft² :

$$D = (\delta F Q / 4 \pi K)^{0.5}$$

$$D = \{[(0.8792)(0.35)(1.398 \times 10^8)] / [(4)(3.1416)(500)]\}^{0.5} =$$

$$D = 82.74 \text{ pies} = 25.2 \text{ m}$$

$$D^2 = x^2 + y^2$$

$$x = (D^2 - y^2)^{0.5} = (25.2^2 - 2^2)^{0.5} = 25.12 \text{ m}$$

Da = 25.12 m.

Cuadro 25. Daños derivados por la radiación térmica en diferentes intensidades y niveles de radiación (recomendado por el API-Recommended Practice- 521).

INTENSIDAD		CONDICIONES
kw/m ²	BTU/hft ²	
9.46	3000	La exposición puede ser de escasos segundos
6.31	2000	Intensidad de calor en donde pueden realizarse acciones de emergencia hasta por un minuto con ropa apropiada
4.73	1500	Intensidad de calor, donde se pueden realizar acciones de emergencia durante varios minutos, con ropa apropiada
1.58	500	Nivel de radiación en donde la exposición puede ser indefinida

Cuadro 26. Daño ocasionado por la radiación térmica en instalaciones y personal expuesto.

INTENSIDAD		EFECTO OBSERVADO
kw/m ²	BTU/hft ²	
35.5	11,252	Causa daño a equipo de proceso.
25.0	7,923	Energía mínima necesaria para incendiar la madera sin fuente de ignición directa
12.5	3,962	Energía mínima necesaria para incendiar la madera con fuente de ignición directa
9.5	3,000	Daño a personas con una exposición hasta 8 s, produciendo quemaduras de primer orden y quemaduras de segundo orden con exposición de 20 s.
4.0	1,268	Si no se protege a la persona, puede sufrir quemaduras de segundo orden con exposición de 20 a 30 s.
1.6	500	No se presentan molestias con exposición por tiempo indefinido a este nivel

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Evento 4. Venteo de válvulas de seguridad en tanques de almacenamiento.

Considerando que el sistema de venteo esta compuesto por una válvula multiport de 4" de diámetro con 4 válvulas de seguridad de 2 1/2" de diámetro y con una capacidad por válvula de 294 m³/min, de acuerdo a las especificaciones tomadas del catálogo REGO modelo A 3149-G).

El catálogo Rego L-101, indica que los tubos de descarga y sus adaptaciones, reducen el flujo entre 2 y 5 %, considerando una reducción de 5% del flujo desfogado es:

$$\text{Flujo desfogado} = 294 \text{ m}^3 / (0.95) (4 \text{ válvulas.})$$

$$\text{Flujo desfogado} = 1117.2 \text{ m}^3 / \text{min} (\text{min}/60 \text{ s}) = 18.62 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Se estima que dicho venteo tomaría de 2 a 5 s por lo tanto el volumen total venteado hacia la atmósfera sería:

$$\text{Para 2 s.:} \quad 18.62 \text{ m}^3 / \text{s} (2 \text{ s}) = 37.24 \text{ m}^3$$

$$\text{Para 5 s.:} \quad 18.62 \text{ m}^3 / \text{s} (5 \text{ s}) = 93.1 \text{ m}^3$$

Masa emitida en kg.:

$$W = (37.24 \text{ m}^3)(1.8814 \text{ kg./m}^3) = 70.06 \text{ kg.}$$

$$W = (186.2 \text{ m}^3)(1.8814 \text{ kg./m}^3) = 175.15 \text{ kg.}$$

Radio equivalente del recipiente:

Vol. de gas = 37.24 m³ para 2 s.

$$= 93.1 \text{ m}^3 \text{ para 5 s.}$$

$$\text{Radio de una esfera} = r = (3 v / 4 \pi)^{1/3} =$$

$$r = [3 (37.24 \text{ m}^3) / 4 (3.1416)]^{1/3} =$$

$$r = 2.07 \text{ m}$$

$$\text{Para } 93.1 \text{ m}^3: r = 2.81 \text{ m}$$

Modelaciones: En este caso se realizaron dos modelaciones: una considerando las condiciones climáticas de inestabilidad, velocidad del viento de 4.1 m/seg:

En el primer caso de condiciones de inestabilidad se tiene:

La concentración de interés es 55828 mg/m³

La velocidad del viento es de 4.1 m/s

La estabilidad atmosférica se considera como B (INESTABLE)

Cuadro 27. Resultado del Modelo de Simulación "PUFF" para el venteo de válvulas de seguridad en tanques de almacenamiento.

Masa emitida (kg.)	Distancia de la concentración de interés (m)	Tiempo de la concentración de interés (s)	Concentración a 10 m de distancia (mg/m ³)	Radio equivalente del recipiente (m)
70.06	0	0	38810	2.07
175.15	33	8	175727	2.81

Cuadro 28. Concentrado de Resultados de los Eventos Riesgosos identificados.

Evento	Masa emitida (kg.)	Nivel de radiación BTU/hr ft ²	Tiempo de fuga (s)	Tiempo de la concentración de interés (s)	Radio de afectación (m)
1	9.51		10	2	10
2	54.88 109.76		30 60	6 8	31 40
3	15.5		1	3	20
3-a	15.5	1500			14.42
		500			25.12
4	70.06		2	0	0
	175.15		5	8	33

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

7.2. Simulación de Escenarios: Fuga, Incendio y Explosión

7.2.1. Descripción del Índice DOW para fuego y explosión

El Índice de Incendio y Explosión (IIE) DOW, se fundamenta en una serie de penalizaciones al proceso bajo análisis, de tal suerte que ofrece la posibilidad de estimar las afectaciones en función de la ocurrencia de un evento riesgoso.

A continuación se detallan las penalizaciones aplicadas a la Planta de Almacenamiento de Gas L.P. y la forma en que fueron asignadas.

Determinación del Factor Material:

El Factor Material es una medida de intensidad de liberación de energía de un compuesto químico, de una mezcla de compuestos o sustancias, cuya consideración se basa en función de dos riesgos del material: Inflamabilidad y Reactividad y tiene un intervalo del 1 al 40; para el caso del Gas L.P. el Factor Material es igual a 21, aplicable al Propano y Butano, que se encuentran en una proporción 80:20.

Determinación de los Factores de los Riesgos Generales del Proceso.

Los apartados a evaluar en esta sección incrementan la magnitud de un probable incidente. Para el caso de la Planta de Almacenamiento de Gas L.P. no aplican los siguientes puntos:

- A. Reacciones exotérmicas.
- B. Reacciones endotérmicas.
- D. Unidades de proceso cerradas.
- E. Acceso.
- F. Desagües.

De esta forma sólo se consideran las penalizaciones asignadas al siguiente factor:

C. Transferencia y manejo de materiales.

Se considera la carga y descarga de líquidos inflamables con un punto de inflamación inferior a 38.8 °C, con una penalización de 0.50.

Determinación de los Factores de los Riesgos Especiales del Proceso.

Al igual que para el cálculo de los Factores Generales de proceso, en esta sección se omiten los puntos que no resultan aplicables, como son:

- B. Presión Baja, inferior a la atmosférica.
- D. Explosión de polvo.
- E. Presión
- F. Temperatura baja.
- K. Uso de calentadores con llama abierta.
- L. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente.

De esta forma solo se toman en cuenta los siguientes puntos:

A. Temperatura del proceso.

Se considera la temperatura de operación Superior al punto de inflamación, por lo que la penalización tiene un valor de 0.30.

C. Operación en o cerca de condiciones de inflamabilidad

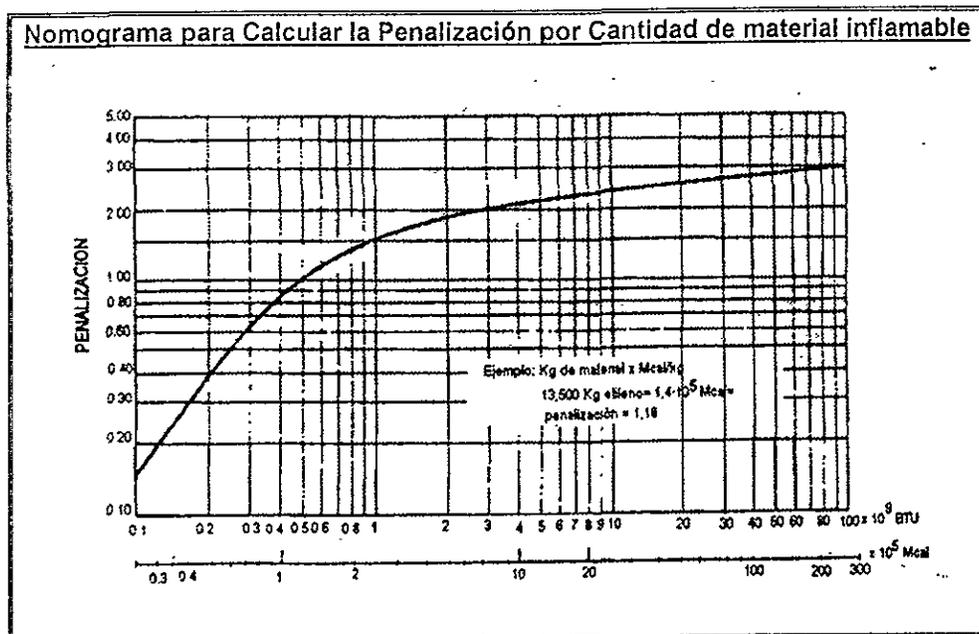
Se toma como base las condiciones de operación bajo el supuesto de estar siempre en condiciones de la inflamabilidad, que corresponde principalmente al procedimiento de descarga de los autostanque, los que se encuentran inertes; de esta forma la penalización tiene un valor de 0.40.

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

G. Cantidad de material inflamable.

Este aspecto valora la exposición adicional de un área cuando se incrementa las cantidades de materiales inflamables, de esta forma se considera el volumen total del Gas L.P. y se considera como un Líquido o Gases en proceso, situación más riesgosa que la de los combustibles almacenados; de esta forma el valor de la penalización se obtiene a partir del siguiente procedimiento:

Cantidad en kg del combustible total: 1 tanque de almacenamiento para Gas L.P. de 125,000 L volumen/agua. Para calcular la masa en kg, se multiplica ese valor por su densidad, que es igual a 0.53 kg/L y se obtiene un valor de 66,250 kg (146,057.01 lb). Para obtener el valor de la penalización se multiplica los kilos de material por el Valor del Calor de combustión del gas (21,591 BTU/lb), dando un resultado de 3,153,516,943 BTU, que es igual a 3.1×10^9 BTU, que al utilizar el nomograma siguiente nos da una penalización de 2.0.



Cabe destacar que si se utiliza la penalización de Líquidos o gases almacenados, esta se reduce considerablemente, debido a las condiciones de seguridad que hacen poco probable su liberación.

H. Corrosión y Erosión.

Para este valor se utilizó el Factor que corresponde a una velocidad de corrosión inferior de 0.5 a mm/año, con una penalización de 0.10.

J. Fugas por uniones y empaquetaduras.

Con una penalización de 0.10, que corresponde a aquellas situaciones que pueden dar lugar a fugas de pequeña importancia.

M. Compresores, bombas y equipos rotativos.

Esta sección valora la exposición al riesgo de un área de proceso donde se utilizan grandes unidades de rotación, donde cabe mencionar que no existe evidencia estadística que indica que bombas y compresoras de tamaños mayores contribuyen con una mayor probabilidad para ser un factor de incidentes con pérdidas; en este sentido se aplicó una penalización de 0.5, que corresponde a procesos que utilizan más de una bomba de más de 75 CV.

De esta forma se obtienen los siguientes resultados finales:

Factor Material (FM) = 21.

Factor de Riesgos Generales de Proceso (F1) = 0.5

Factor de Riesgos Especiales de Proceso (F2) = 3.4

Factor de Riesgo de la Unidad (F1 x F2) = F3 = 1.7

Índice de Incendio y Explosión (F3 x FM) = 35.7, que corresponde a un **Grado de Peligro Ligero** (Tabla 10).

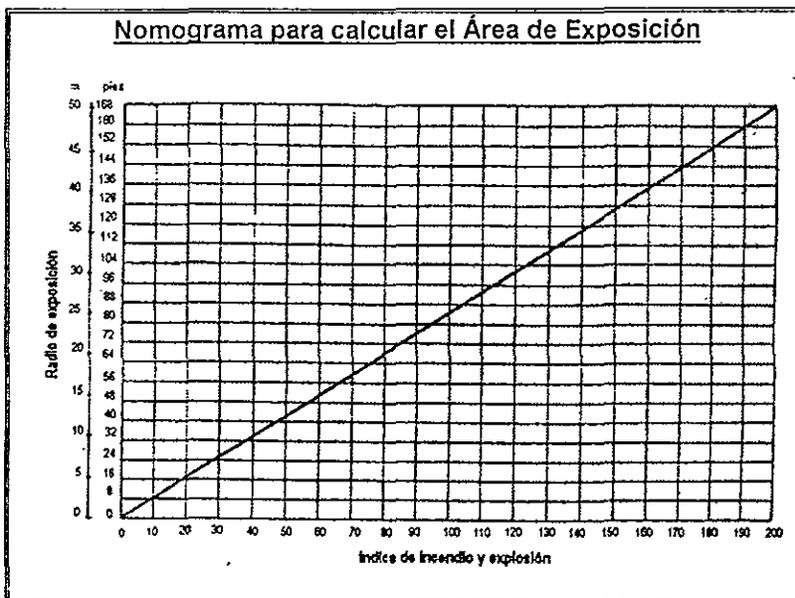
7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Cuadro 29. Clasificación de Riesgos Identificados.

IFE	TIPO DE RIESGO
1-60	Ligero
61-96	Moderado
97-127	Intermedio
128-158	Grave
MAS DE 158	Severo

El cálculo del Índice de Incendio y Explosión (IIE), ofrece una medida del nivel de afectación probable a producirse en la operación de la Planta de Almacenamiento de G L P., de tal forma que se obtiene un área expuesta a este evento riesgoso.

Al utilizar el nomograma para correlacionar el valor de IIE = 35.7, se obtiene un Radio de Afectación con una distancia de 28 ft o 9.3 metros.



De esta forma el radio de afectación de acuerdo al Índice DOW y considerando toda la liberación de combustible, como un evento de Máxima Catástrofe, no alcanza las colindancias cercanas, reduciéndose a las instalaciones de la Planta de

Almacenamiento de G.L.P. Finalmente se muestra el concentrado de los valores mencionados en el formato respectivo.

ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN		
PLANTA: ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.	UNIDAD: TANQUES DE ALMACENAMIENTO	RESPONSABLE:
MATERIALES: GAS L.P.		
CATALIZADORES: NINGUNO	DISOLVENTES: NINGUNO	
		Penalización
FACTOR MATERIAL DEL GAS L.P. (FM):		21
1. RIESGOS GENERALES DEL PROCESO		
A. Reacciones exotérmicas (Factor 0.30 a 1.25)		No aplica
B. Reacciones endotérmicas (Factor 0.20 a 0.40)		No aplica
C. Transferencia y manejo de materiales (Factor 0.25 a 0.85)		0.50
D. Unidades de proceso cerradas (Factor 0.30 a 0.90)		No aplica
E. Acceso.		No aplica
F. Desagües (Factor 0.25 a 0.50)		No aplica
FACTOR DE RIESGOS GENERALES DEL PROCESO (F1)		0.5
2. RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO.		
A. Temperatura del proceso (Usar solo una)		
1. Superior al punto de inflamación.		0.3
2. Superior al punto de ebullición.		
3. Superior al punto de autoignición.		
B. Presión Baja (Inferior a la atmosférica)		
C. Operación en o cerca de condiciones de inflamabilidad		
1. Líquidos inflamables almacenados en tanques en el exterior.		
2. Alteración del proceso o fallo de purga.		
3. Siempre en condiciones de la inflamabilidad.		0.4
D. Explosión de polvo (Factor 0.25 a 2.00)		
E. Presión		
F. Temperatura baja (Factor 0.20 a 0.50)		
G. Cantidad de material inflamable.		
1. Líquidos o gases en proceso.		2.0
2. Líquidos o gases almacenados.		
3. Sólidos combustible inflamables.		
H. Corrosión y Erosión (Factor 0.10 a 1.50)		
J. Fugas por uniones y empaquetaduras (Factor 0.10 a 1.50)		
K. Uso de calentadores con llama abierta.		
I. Sistema de intercambio térmico con aceite caliente (Factor 0.15 a 1.50)		
M. Compresores, bombas y equipos rotativos.		
FACTOR DE RIESGOS ESPECIALES DEL PROCESO (F2)		3.4
FACTOR DE RIESGO DE LA UNIDAD (F1 x F2 = F3)		1.7
ÍNDICE DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN (F3 x FM) = IIE		35.7

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

Para calcular la probabilidad de ocurrencia de los siniestros identificados y determinar las zonas potencialmente afectables y esquematizarlas en un plano, debe de incluirse una estimación de la probabilidad de un evento riesgoso, sin embargo se puede mencionar que los eventos de mayor probabilidad son las fugas ocasionales en la descarga de autostanque, llenado de autostanque para servicio de tanques estacionarios, llenado de cilindros portátiles y finalmente la fuga en los tanques de almacenamiento y su incendio, que resulta el riesgo más catastrófico. A tales eventos se les asigna la siguiente ponderación:

VALORES DE CRITICIDAD.

I	Catastrófico	Muertos dentro o fuera del sitio.
II	Severo	Lesiones múltiples
III	Moderado	Una lesión simple.
IV	Leve	Sin lesiones.

De manera similar los valores de frecuencia se asignan de la siguiente forma:

FRECUENCIA

a.	Ocurre más de una vez por año.
b.	Ocurre entre 1 y 10 años.
c.	Ocurre entre 10 y 100 años.
d.	Ocurre entre 100 y 10,000 años.
e.	Ocurre al menos una vez por 100,00 años

Con las ponderaciones anteriores se obtiene la siguiente matriz de riesgo:

MATRIZ DE RIESGO.

		FRECUENCIA				
		A	B	C	D	E
CRITICIDAD	I	1	1	1	2	4
	II	1	2	3	3	4
	III	2	3	4	4	4
	IV	4	4	4	4	4

A partir de la matriz anterior se obtienen las definiciones y acciones siguientes:

Cuadro 30. Acciones Recomendadas por la clasificación asignada.

Clasificación	Descripción	Medidas de mitigación.
1	Inaceptable	Puede ser mitigado con ingeniería o control administrativo para ubicarlo dentro de la clasificación 3 o menor, dentro de un periodo de tiempo específico de 6 meses.
2	Indeseable	Puede ser mitigado con ingeniería o control administrativo para una clasificación hasta 3 o menor, dentro de un tiempo específico de 12 meses.
3	Aceptable con control	Pueden verificarse y corregir procedimientos o establecer controles en el área de riesgo.
4	Aceptable	No requiere de acción de mitigación.

En resumen, es posible afirmar que la mayoría de los riesgos más importantes se dan en el área de almacenamiento de Gas L.P. y se clasifican de la siguiente forma haciendo referencia a los valores de Criticidad, Frecuencia, Matriz de Riesgo y finalmente el grupo de acciones recomendadas.

1. Fuga por rotura de manguera de llenadera en muelle de llenado de cilindros portátiles.

Este evento se clasifica como **leve** (sin lesiones) y de **frecuencia A** (más de 1 vez por año), por lo que representan un riesgo **Aceptable** (no requiere acción de mitigación), sin embargo, las líneas de los dispensarios cuentan con una válvula de seguridad, los cilindros son revisados periódicamente y se capacita al personal para que realice un manejo adecuado. Esta situación no debe de ser omitida.

7. Identificación y Evaluación del Riesgo Ambiental en el Manejo del Gas L.P.

2. Venteo en válvula de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores.

Este evento se clasifica como **leve** (sin lesiones) y de **frecuencia B** (entre 1 y 10 años), por lo que representan un riesgo **Aceptable** (no requiere de acción de mitigación); sin embargo, las líneas de retorno de vapores deben de contar con una válvula de alivio adecuada y mantenimiento periódico, garantizando la eliminación y/o control de este evento.

3. Fuga durante la Rotura de manguera de descarga de autotanque.

Este evento se clasifica como **severo** (lesiones múltiples) y de **frecuencia C** (ocurre entre 10 y 100 años), por lo que representan un riesgo **Indeseable** (mitigable con ingeniería o control administrativo en un tiempo de 12 meses).

Evento 3-a. Incendio de masa de gas fugada en evento (3).

Este evento se clasifica como **severo** (lesiones múltiples) y de **frecuencia C** (ocurre entre 10 y 100 años), por lo que representan un riesgo **Inaceptable**, (mitigable con ingeniería o control administrativo para ubicarlo dentro de la clasificación 3 o menor, dentro de un periodo de tiempo específico de 6 meses).

Evento 4. Venteo de válvulas de seguridad en tanques de almacenamiento.

Este evento se clasifica como **leve** (sin lesiones) y de **frecuencia B** (entre 1 y 10 años), por lo que representan un riesgo **Aceptable** (no requiere de acción de mitigación); sin embargo, los tanques de almacenamiento deben de contar con cuatro válvulas de alivio adecuada y mantenimiento periódico.

Existe un quinto evento riesgoso que es difícil de pronosticar sus efectos en alguna modulación, sin embargo su clasificación es la siguiente.

Riesgo de colisión de vehículo automotor contra instalaciones.

Este evento se clasifica como **moderado** (lesión simple) y de **frecuencia B** (entre 1 y 10 años), por lo que representan un riesgo **aceptable con control** (verificar y corregir procedimientos o establecer controles en el área de riesgo asociada al patio de trasiego) y requiere la **vigilancia** en el factor que promueve su ocurrencia, de tal forma que los accesos y la señalización que existe deben satisfacer los controles estrictos para reducir su riesgo. Sin embargo, es necesario mantenerlas siempre en óptimas condiciones.

El cuadro 31 resume los riesgos identificados, Criticidad y tipo.

Cuadro 31. Nivel de Criticidad, Frecuencia y Tipo de Riesgo de los -Eventos Identificados.

Evento	Criticidad	Frecuencia	Tipo de Riesgo
1. Fuga por rotura de manguera de llenadera en muelle de llenado de cilindros portátiles.	Leve (sin lesiones)	A (más de 1 vez por año)	Aceptable (no requiere acción de mitigación)
2. Venteo en válvula de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores.	Leve (sin lesiones)	B (entre 1 y 10 años)	Aceptable (no requiere de acción de mitigación).
3. Rotura de manguera de descarga de autotanque.	Severo (lesiones múltiples).	C (ocurre entre 10 y 100 años)	Indeseable (mitigable con ingeniería o control administrativo en un tiempo de 12 meses).
3-a. Incendio de masa de gas fugada en evento 3.	Severo (lesiones múltiples).	C (ocurre entre 10 y 100 años)	Indeseable (mitigable con ingeniería o control administrativo en un tiempo de 12 meses).
4. Venteo de válvulas de seguridad en tanques de almacenamiento.	Leve (sin lesiones)	B (entre 1 y 10 años)	Aceptable (no requiere de acción de mitigación).
5. Riesgo de colisión de vehículo automotor contra instalaciones	Moderado (lesión simple)	B (entre 1 y 10 años)	Aceptable con control (verificar y corregir procedimientos o establecer controles)

8. CONCLUSIONES.

1. Los eventos de Riesgo Identificados en el Manejo de Gas L.P. en la planta de Almacenamiento más probables son los siguientes:
 - Fuga por rotura de llenadera en el muelle de llenado de cilindros portátiles, con un radio de afectación de 10 metros.
 - Fuga por venteo en válvulas de alivio del compresor en la línea de retorno de vapores, cuyo radio de afectación tiene un intervalo de 31 a 40 metros.
 - Fuga por rotura de manguera de descarga de autotanque, con un radio de afectación de 20 metros.
 - Incendio de masa de gas fugada en manguera de descarga de autotanque, afectando un área comprendida entre 14.42 y 25.12 metros.
 - Fuga por venteo de válvulas de seguridad en tanques de almacenamiento, cuyo radio de afectación es de 33 metros.

2. La probabilidad de que ocurra un evento catastrófico no deseado en la planta de Gas es remota debido a que cuenta con los dispositivos de seguridad indicados en las normas correspondientes, como señalamientos, válvulas de desfogue, de cierre automático, válvulas de llenado, instalaciones de red de tierra física, materiales de las diferentes líneas, tanques de almacenamiento y unidades de transporte.

3. En el caso de presentarse una fuga en alguno de los eventos antes mencionados se tendría como masa mínima emitida 9.51 kg y máxima de 175.15, no alcanzando la tonelada necesaria para considerar el volumen fugado como una nube explosiva que pudiera tener efectos graves, por otro lado el volumen emitido queda por arriba del valor de 10,000 ppm (TWA) .

4. Con base en el cálculo del Índice de Incendio y Explosión, dan como resultado un Riesgo Ligero, donde los daños causados por un incendio comprenden un Radio de Afectación de 28 ft o 9.3 metros.
5. La fuga en los tanques de almacenamiento y su incendio es el riesgo más catastrófico y el radio de afectación de acuerdo al Índice DOW y considerando toda la liberación de combustible, no alcanza las colindancias cercanas, reduciéndose a las instalaciones de la Planta de Almacenamiento.
6. Los eventos no deseados relacionados con gas L.P en su mayor parte se presentan durante el procedimiento de descarga y en el transporte, reflejando la gran responsabilidad de los encargados de realizar esta operación de tal manera que minimicen su ocurrencia.
7. Un riesgo no deseado se puede mitigar principalmente por la ingeniería, capacitación, organización y vigilancia .
8. El conocimiento de la Normatividad es un factor fundamental para el correcto funcionamiento de la planta tanto por sus requerimientos técnicos como los humanos, donde la capacitación es la clave para contar con el personal que permita minimizar o eliminar incluso los riesgos potenciales más frecuentes.
9. Un elemento fundamental es el establecimiento y respeto de zonas de amortiguamiento necesarias entre la planta y la población más cercana, siendo un ejemplo de su importancia el Suceso de San Juan Ixhuatepec, Estado de México, que tuvo efectos catastróficos para la población.

10. Los métodos más adecuados para identificar los riesgos en Plantas de gas L.P. son: la lista de chequeo y HAZOP.

- 11 Es indispensable para la planta tener sus manuales de procedimientos, seguridad, emergencias, capacitación, entre otros para ser consultados fácilmente por los trabajadores mejorando de esta forma la información hacia todo el personal de la manera en que trabaja y la forma correcta de actuar en caso de un evento favoreciendo la seguridad dentro y fuera de la planta.

9. RECOMENDACIONES.

A continuación se indican una serie de medidas recomendadas para eventos menores como resultado de la evaluación de riesgos a la Planta de almacenamiento de Gas L.P., considerando la operación, procedimientos y medidas de seguridad, y que un riesgo no deseado se puede mitigar principalmente por la ingeniería, capacitación, organización y vigilancia .

RECOMENDACIONES PARA LA OPERACIÓN DE LA PLANTA.

MEDIDAS COMPLEMENTARIAS	EFEECTO	EQUIPO
Supervisión constante durante todas las operaciones.	Evita fugas por desprendimiento de manguera y conexiones.	Mangueras, válvulas y líneas de conducción.
Establecer un programa periódico de mantenimiento en mangueras, válvulas y medidores de nivel.	Evita rupturas de manguera y sobrellenado de tanques.	Mangueras, válvulas y medidores de nivel.

RECOMENDACIONES DURANTE LOS PROCEDIMIENTOS.

MEDIDAS COMPLEMENTARIAS	EFEECTO
Contar con un manual e instructivo de operación de todas las líneas del sistema	Permite supervisar el correcto funcionamiento del sistema.
Realizar pruebas de hermeticidad.	Evita fugas en el sistema.
Realizar pruebas de funcionamiento de las líneas del sistema y equipo de arranque.	Asegura el correcto funcionamiento de las líneas del sistema.
Realizar programa de pruebas de los dispositivos de seguridad .	Asegura la atención inmediata de cualquier evento no deseado.
Implementar programas de mantenimiento que involucre limpieza de las áreas.	Evita fuego por material combustible, obstrucciones en salidas de emergencia, caídas, entre otros eventos no deseados
Contar con personal técnico capacitado que conozca cada línea del sistema.	Evita errores humanos por mala operación.

RECOMENDACIONES A INCORPORAR EN LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD.

MEDIDAS COMPLEMENTARIAS	EFECTO
Contar con manual de seguridad para casos de fugas, explosión y/o incendios.	Conocimiento por parte del personal de las <i>medidas de respuesta a casos de fugas, explosión y/o incendios</i>
Instalar válvulas manuales y automáticas en todas las líneas del sistema.	Permite una respuesta inmediatamente en caso de fugas.
Contar con equipo contra incendio.	Rápidas respuestas a eventos de emergencia.
Implementar programas de capacitación y simulacros de situaciones de emergencia que involucren a todo el personal	Rápida y efectiva respuesta a una emergencia.
Contar con alarmas contra incendios.	Rápida respuesta a emergencias
Establecer contacto con Centros de Atención Médica de la zona y tener sus datos (dirección y teléfono) a disposición del personal.	Atención más eficiente y rápida de los posibles heridos.
Elaboración y actualización de Programas de Prevención de Accidentes y Protección Civil.	Informar a los trabajadores como actuar en caso de accidentes
Definir zonas de amortiguamiento para la minimización de riesgos para la población.	Permite contar con una distancia entre instalaciones y poblaciones cercanas, que garanticen la integridad física de la población.

En relación a los aspectos inherentes al manejo de sustancias peligrosas se deben de atender los aspectos siguientes:

NORMATIVO

1. Establecer el Delito Ambiental o Delito Ecológico en el sistema jurídico, evitando evadir la responsabilidad al proteger indirectamente al ambiente a través de la tutela de bienes como la salud, vida o patrimonio, sin establecer lineamientos claros a los cuales apearse.

2. Implementar una política acerca de la aceptación o rechazo de nuevos productos y sustancias de los cuales se desconoce toda información sobre efectos directos y colaterales sobre el ambiente o la salud.

SOCIAL

1. Fortalecer la formación de profesionistas que desarrollen los nuevos compuestos químicos para la industria, ya sea farmacéutica, química, agropecuaria o cualquier otra y que estén acorde a las necesidades del país, permitiendo conocer todos los posibles efectos de esas sustancias hacia el medio al cual serán liberadas y la manera de controlarlos.
2. Establecer mecanismos de participación de la sociedad, a través de organizaciones de productores o consumidores de aquellos bienes o servicios altamente riesgosos, a fin de participar plenamente en su vigilancia y supervisión.
3. Evitar impacto visual adverso por las instalaciones para prevenir conflictos con la población cercana por criterios estéticos (olores, obstrucción, vialidad, arquitectura, etc.).

10. BIBLIOGRAFÍA.

1. AIChE. 1989. Chemical Process Quantitative Risk Analysis for Chemical Process Safety, U. S. A. ; p. 106.
2. AIChE. 1989. Workbook of test cases for vapor cloud source dispersion models. C. C. P. S. U. S. A.
3. AIChE. 1990. Fundamentals of fire and explosion Hazard Evaluation. Methods for calculations of fire and explosions hazards. American Institute of Chemical Engineers, U. S. A.
4. American Petroleum Institute. 1990. Guide for pressure relieving and depressuring systems. 3a ed., API Recommended Practice 521.
5. Crane. 1989. Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. Ed. Mc Graw Hill.
6. Dewolf, Gleen, 1993. Curso piloto de capacitación en materia de Riesgo Ambiental. Corporación Radian, S.A. de C.V.
7. Diario Oficial de la Federación, 1965. NMX-X-13-1965. Válvulas de retención para uso en recipientes no portátiles para gas L.P.
8. Diario Oficial de la Federación, 1967. NMX-CH-26-1967, Calidad y funcionamiento de manómetros para gas L.P. y natural.
9. Diario Oficial de la Federación, 1970. NMX-L-1-1970, Gas Licuado de Petróleo.
10. Diario Oficial de la Federación, 1983. NMX-X-31-1983, Instalaciones de Gas Natural o L.P. vapor y aire. Válvulas de paso.
11. Diario Oficial de la Federación, 1985. NMX-X-29-1985, Gas L.P. Mangueras con refuerzos de alambres o fibras textiles.
12. Diario Oficial de la Federación, 1986. NMX-B-10-1986, Productos siderúrgicos. Tubos de acero al carbón con o sin costura, negros o galvanizados por inmersión caliente.
13. Diario Oficial de la Federación, 1990. "Primer Listado de Actividades Altamente Riesgosas". 28 de Marzo de 1990. México, D.F.

14. Diario Oficial de la Federación, 1992. "Segundo Listado de Actividades Altamente Riesgosas" . 4 de Mayo de 1992. México, D.F.
15. Diario Oficial de la Federación, 1992. NMX-X-25-1992, Válvulas de llenado para uso de recipientes tipo no portátil para gas L.P.
16. Diario Oficial de la Federación, 1992. NOM-X-58. 1992. Plantas de almacenamiento para Gas L.P. " Diseño y Construcción, México.
17. Diario Oficial de la Federación, 1993. NOM-018/1-SCFI-1993, Distribución y consumo de Gas L.P. Recipientes portátiles y sus accesorios. Parte 1. Recipientes.
18. Diario Oficial de la Federación, 1993. NOM-021/1-SCFI-1993, Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Tipo no portátil. Requisitos generales.
19. Diario Oficial de la Federación, 1993. NOM-021/2-SCFI-1993, Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Tipo no portátil destinados a plantas de almacenamiento para distribución y estaciones de aprovisionamiento de vehículos.
20. Diario Oficial de la Federación, 1993. NOM-021/5-SCFI-1993, Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P. Para transporte de Gas L.P.
21. Diario Oficial de la Federación, 1994. NOM-EM-001-SCFI-1993, Plantas de almacenamiento para gas L.P. Diseño y construcción. Enero 31 de 1994.
22. Diario Oficial de la Federación, 1994. NOM-001-SEMP-1994, Relativas a las instalaciones destinadas al suministro y uso de la energía.
23. Diario Oficial de la Federación, 1994. NOM-010-STPS-1994, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, almacenen o manejen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el Ambiente Laboral.
24. Diario Oficial de la Federación, 1994. NOM-056-SCFI-1994, Bodegas de distribución de recipientes portátiles para gas L.P. Diciembre 8 de 1994.

25. Diario Oficial de la Federación, 1994. NOM-STPS-010/1994. Seguridad e Higiene en el Trabajo, Diario Oficial de la Federación, 1994, México.
26. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM- 095-SCFI-1994, Instalaciones de aprovechamiento para gas natural. Diciembre 29 de 1994.
27. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-069-SCFI-1994, Instalaciones de aprovechamiento para gas L.P. Agosto 1 de 1994.
28. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-079-SCFI-1994, Controles primarios y controles programados de seguridad de flama para quemadores de gas natural, gas L.P., diesel o combustóleo, con detección de flamas por medios electrónicos (fotoceldas, fototubos o por detección de la ionización de las flamas). Diciembre 4 de 1994.
29. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-087-SCFI-1994, Válvulas de servicio para utilización en recipientes contenedores de gas L.P., tipo no portátil usados como depósito de combustible para motores. Diciembre 21 de 1994.
30. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-088-SCFI-1994, Válvulas de servicio con y sin dispositivo de máximo llenado para usarse en recipientes de gas L.P., tipo no portátil. Diciembre 21 de 1994.
31. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-089-SCFI-1994, Válvulas de retención para uso en recipientes no portátiles para gas L.P. Diciembre 28 de 1994.
32. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-091-SCFI-1994. Válvulas para recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P., tipo no portátil. Diciembre 23 de 1994.
33. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-092-SCFI-1994. Diciembre 8 de 1994.
34. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-094-SCFI-1994, Uso de gas natural licuado como combustible vehicular -Requisitos de seguridad para instalaciones vehiculares. Diciembre 26 de 1994.

35. Diario Oficial de la Federación, 1994. Proyecto de Norma NOM-097-SCFI-1994, Uso del gas natural licuado como combustible automotriz requisitos de seguridad para estaciones de servicio. Diciembre 28 de 1994.
36. Diario Oficial de la Federación, 1995. NOM-098-SCFI-1995, Semirremolque para el transporte de gas L.P. Revisión periódica de sus condiciones.
37. Diario Oficial de la Federación, 1995. NOM-099-SCFI-1994, Autotanque para el transporte de gas L.P. Revisión Periódica de sus condiciones. Enero 18 de 1995.
38. Diario Oficial de la Federación, 1996. Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. 13 de Diciembre de 1996, México.
39. Diario Oficial de la Federación, 1996. NOM-EM-001-SE-1996, Características y especificaciones del gas natural que se inyecte a los sistemas de transporte, almacenamiento y distribución. Marzo 8 de 1996.
40. Diario Oficial de la Federación, 1997. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, México, D.F.
41. Diario Oficial de la Federación, 1997. Gaceta Sanitaria, Diciembre de 1987.
42. Diario Oficial de la Federación, 1997. NOM-001-SEDG-1996, Plantas de almacenamiento para Gas L.P. Diseño y construcción. Septiembre 12 de 1997.
43. Diario Oficial de la Federación, 1997. Proyecto de Norma NOM-001/2-SEDG-1997, Plantas de almacenamiento para gas L.P. Sistema de protección por medio de envolvente termo-mecánica para tanques de almacenamiento. Diseño y construcción. Julio 25 de 1997.
44. Diario Oficial de la Federación, 1997. Proyecto de Norma NOM-004-SECRE-1997, Uso del gas natural licuado como combustible vehicular: requisitos de seguridad para instalaciones vehiculares. Febrero 19 de 1997.
45. Diario Oficial de la Federación, 1997. Proyecto de Norma NOM-005-SECRE-1997, Uso del gas natural licuado como combustible vehicular; requisitos de seguridad para estaciones de servicio. Marzo 12 de 1997.
46. Diario Oficial de la Federación, 1997. Proyecto de Norma NORMA-002-SECRE-1997, Instalaciones de aprovechamiento para gas natural. Febrero 12 de 1997.

47. EPA, 1984. "Evaluación y manejo de riesgos. Sistema para la toma de decisiones". Documento No. 00073-85-002, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América; Diciembre de 1984.
48. Greenberg R. H. and Cramer J. J., 1991, Risk Assessment and Risk Management for the Chemical Process Industry. Van Nostrand Reinhold, New York.
49. Hughes and Swindells. 1987. Storage and Handling of petroleum liquids. Ed. Wiley Interscience, Cap. 9.
50. Industrias Negromex. 1985. Eliminación de peligros potenciales en procesos químicos. Una técnica sistemática para identificarlos, evaluarlos y eliminarlos. Mimeo. México.
51. INE, SEDESOL, 1994. Evaluación y Manejo de Accidentes Ambientales. Convenio de cooperación técnica México-Canadá Marzo 22-25.
52. INE, SEDESOL, 1994. Regulación y gestión de productos químicos en México, enmarcados en el contexto internacional. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología.
53. Louis Theodore, Joseph P. Reynolds and Francis B. Taylor. 1989. Accident and Emergency Management. Ed. Wiley Interscience: p. 347-348.
54. Organización Internacional del Trabajo, 1992. Prevención de accidentes industriales mayores. Organización Internacional del Trabajo, Ginebra, Suiza; 118 pp.
55. PEMEX, 1989. NO.03.0.04. Tránsito interior de vehículos en instalaciones industriales, administrativas y de servicios de Petróleos Mexicanos.
56. PEMEX, 1991. Estudio de Impacto Ambiental del entorno de la Agencia de Ventas de Avalos, Chih. Petróleos Mexicanos, México; p. 54.
57. Perry, R. and Chilton Cecyl, 1980. Chemical Engineers Handbook. Mc-Graw Hill, International Book Company.
58. PNUMA-OIT-OMS, 1990. Control de Riesgos de Accidentes Mayores. Oficina Internacional del Trabajo, Ginebra.
59. Rego, Catálogo L-101. "L.P. Gas and Anhydrous Ammonia Equipment"

60. SEMARNAP, 1997. Programa de gestión ambiental de sustancias tóxicas de atención prioritaria. Instituto Nacional de Ecología, México.
61. SEMARNAP, 1997. Programa para la minimización y manejo integral de residuos industriales peligrosos en México 1996-2000. Instituto Nacional de Ecología, SEMARNAP. México.
62. SINAPROC-CENAPRED, 1993. Sistema de base de datos de accidentes químicos ocurridos en la República Mexicana. Reporte de eventos ocurridos de junio de 1990 a diciembre de 1993. México.
63. Stafford Woodhal et al. 1985. Effects of exposure to toxic gases. First aid and medical treatment. 3a ed. Matheson Gas Products, Inc. N. Jersey; p. 4-5.
64. Weitzenfeld Henyk, 1996. Manual Básico sobre Evaluación del Impacto en el Ambiente y la Salud. 2a de., Centro panamericano de Ecología Humana y Salud División de Salud y Ambiente, Organización Panamericana de la Salud y Organización Mundial de la Salud, Metepec, México.