

18

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

MODELOS DE RIESGO AMBIENTAL
EMPLEADOS PARA EVALUAR
ESTACIONES DE SERVICIO DE GAS L.P.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE :

INGENIERO CIVIL

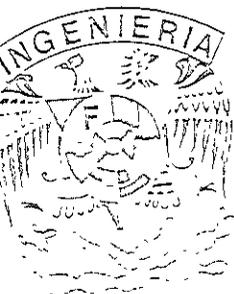
P R E S E N T A :

EDSON OSVALDO BERDEJA TUMALAN

DIRECTOR DE TESIS. ING MIGUEL A. GONZÁLEZ LOPEZ

MÉXICO, D.F.

2001.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



VERDAD NACIONAL
ESTRELLA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
FING/DCTG/SEAC/UTIT/170/98

Señor
EDSON OSVALDO BERDEJA TUMALAN
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MIGUEL A. GONZALEZ LOPEZ, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"MODELOS DE RIESGO AMBIENTAL EMPLEADOS PARA EVALUAR ESTACIONES DE SERVICIO DE GAS L.P."

- INTRODUCCION
- I. CAUSAS DE FALLA Y CONSECUENCIAS
- II. DESCRIPCION DE LAS ESTACIONES
- III. BASES TEORICAS DE LOS MODELOS
- IV. ANALISIS DE FALLA
- V. CASO ESTUDIO
- CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cd. Universidad a 17 de noviembre de 1998

EL DIRECTOR

ING. JOSE MANUEL COVARREBIAS SOLIS

ING. CIVIL

Agradecimientos

A mi Universidad: Por esta hermosa profesión.

A Dios: Por darme salud y fuerza para seguir adelante.

A mi Padre: Por inculcarme que se lucha por ser alguien en la vida y no dejarse vencer ante la adversidad. Así como tu apoyo incondicional en los momentos buenos y malos, te quiero PA.

A mi Madre: Gracias por todos esos buenos consejos tan valiosos, tu cariño, tu amor. Te adoro y te quiero mucho MA.

A mis hermanos: Chuy y Aris, realmente son grandes hermanos, los quiero mucho

A mi Peca Adorada: Por todos los momentos vividos, T.A.M.

Al Ing. Miguel A. González López: Con afecto y gratitud.

A mis sinodales. Gracias.

Índice general

Introducción

I.	Causas de falla y consecuencias	I.1
I.1	Fallas típicas	I.2
I.2	Escenarios de riesgo	I.8
I.3	Identificación de eventos probables de riesgo	I.10
II.	Descripción de las estaciones	II.1
II.1	Normatividad para diseño y construcción de estaciones de servicio de gas L.P.	II.1
II.1.1	Introducción	II.1
II.1.2	Requisitos del proyecto	II.5
II.1.3	Especificaciones técnicas	II.8
II.1.4	Especificaciones particulares para plantas que reciban gas L.P. por ducto	II.30
II.1.5	Rótulos	II.31
II.1.6	Apéndice y anexos	II.32
III.	Bases teóricas de los modelos	III.1
III.1	Introducción	III.1
III.2	Árbol de sucesos en una instalación de gas L.P.	III.3
III.3	Bases teóricas de los modelos identificados	III.5
III.4	Modelos de dispersión de contaminantes	III.12
IV.	Análisis de falla	IV.1
IV.1	Introducción	IV.1
IV.2	Métodos cualitativos	IV.1
IV.3	Métodos semicualitativos	IV.7
IV.4	Técnicas de análisis de frecuencias	IV.8
IV.5	Aplicación de los métodos	IV.16
V	Caso estudio	V.1

Conclusiones

Bibliografía

Introducción

Apartir de los años cincuentas, se han presentado diversos accidentes graves en la industria que han puesto en evidencia los riesgos asociados con la tecnología moderna. Sumados a estos accidentes, los problemas ambientales ocasionados por las emisiones de contaminantes al aire, las descargas de sustancias tóxicas al agua y la generación de grandes volúmenes de residuos peligrosos por las actividades industriales, han generado deterioro ambiental.

Debido al desarrollo industrial, ha aumentado la capacidad de manufactura y almacenamiento de cantidades elevadas de sustancias peligrosas en los parques industriales, que en los últimos años han ido creciendo tanto en número como en complejidad. Estos conjuntos industriales y los empleos que generan, han desencadenado una densa concentración de asentamientos humanos en torno a ellos; asimismo el aumento en el manejo de productos químicos, así como el transporte de éstos hacia las empresas y a partir de ellas han incrementado los riesgos de accidentes.

La conciencia pública acerca de los riesgos de vivir en la vecindad de establecimientos peligrosos ha ido en aumento a medida que ocurren y se difunde información sobre accidentes, que han costado vidas humanas, afectaciones a la salud y los bienes de las poblaciones expuestas, ocasionado daños severos a los ecosistemas en los sitios en los que se produjeron.

México ha sufrido experiencias dolorosas y a veces fatales, como consecuencia de accidentes en los que dichas sustancias se han difundido en el ambiente o han ocasionado incendios y explosiones graves.

En México no existe control estadístico adecuado de los accidentes en las instalaciones de las estaciones de servicio de gas L.P., así como también se carece de una base de datos adecuada.

Cabe señalar diversos accidentes sucedidos tanto a nivel nacional e internacional, en los que se han ocasionado serias afectaciones a la población, como al equilibrio ecológico, pudiendo mencionar los siguientes:

- Cerritos, San Luis Potosí. En 1981, con el descarrilamiento de un tren, se fugaron grandes cantidades de cloro ocasionando a su vez varias explosiones, como saldo se tuvieron 14 muertos y cerca de 1,000 intoxicados y una evacuación de 25,000 personas de los poblados cercanos.
- En 1984 se produjo una explosión de un depósito de gas licuado de petróleo en San Juan Texuantepec, Estado de México, que ocasionó la muerte de 650 personas y heridas a varios miles.

- Poza Rica, Veracruz. En noviembre de 1990, una fuga de ácido sulfhídrico aunado a condiciones meteorológicas adversas, ocasionó, la muerte e intoxicación de numerosas personas.
- En la ciudad de Guadalajara, Jalisco. En 1992, explotó parte de la red de alcantarillado por la presencia de gasolina y residuos químicos industriales.
- Seveso, Italia. Domingo 20 de julio de 1976. En una empresa fabricante de herbicidas, una sustancia altamente tóxica se formó al elevarse incontroladamente la temperatura de reacción del proceso de síntesis del ácido triclorofenoxiacético.

Como consecuencia de tal reacción, se liberó al ambiente una nube tóxica que contenía aproximadamente de cinco a diez kilos de 2, 3, 7, 8-tetraclorobenzo-p-dioxina, la cual contaminó el suelo y los cultivos agrícolas en un área de cerca de 4 450 acres, produjo la muerte de casi 100 mil animales que pastaban, así como de miles de animales silvestres. En las instalaciones de la planta no se contaba ni con el equipo ni con el personal debidamente capacitado para realizar la identificación del compuesto liberado y se tuvo que esperar la llegada de personal especializado de una de sus plantas en Suiza para determinar la evacuación de la población, la cual tuvo lugar hasta seis días después del accidente.

Como consecuencia de la explosión de la sustancia tóxica, la población afectada manifestó trastornos gastrointestinales, que pudieron tratarse rápidamente; los niños presentaron irritación de la piel, que evolucionó hacia severos casos de dermatitis. Posteriormente, se ha informado tanto la elevación de la incidencia de casos de aborto como de malformaciones congénitas.

Se calcula que tan sólo las pérdidas materiales ascendieron a 72 mil ECUS (un ECU equivale actualmente a cerca de 1.2 millones de dólares de Estados Unidos).

- Mississauga, Canadá. Un descarrilamiento de carrotaques de ferrocarril, ocasionó fugas de propano, tolueno y cloro, afectando durante 5 días a cerca de 250,000 personas que tuvieron que ser evacuadas.
- 14 de agosto de 1980, Morgan City, Louisiana. Aparentemente el sobreflujo y el fuego generados en un camión-pipa de la compañía Texaco, ocasionaron daños por más de 1,000,000.00 de dólares y la evacuación de siete calles en el centro de Morgan City. Treinta y tres departamentos de bomberos trabajaron en conjunto para apagar el incendio.

El crecimiento en México en las últimas décadas ha llevado un fuerte impulso para el desarrollo económico y social contando con una importante participación del sector industrial, en el cual se incluyen la industria petrolera, petroquímica y química; sin embargo, dada la amplitud de sus actividades y de las zonas en donde se desarrolla en cierto momento, ha ocasionado impactos ambientales, situación que obligó a llevar a cabo medidas y acciones para controlar las afectaciones al medio ambiente.

A medida que la tecnología ha aumentado, ha avanzado el riesgo asociado con esta. Los efectos más importantes de la tecnología moderna sobre la salud pública tiene su origen en la exposición prolongada y crónica a emisión de contaminantes en los alrededores de los complejos industriales. Estos problemas ambientales derivados de la tecnología guardan relación estrecha con la seguridad, puesto que raras son las veces en que, en las consecuencias ambientales, sociales y económicas, no haya implícitas cuestiones de seguridad; esto se hace más evidente en el caso de operaciones accidentales, donde sus efectos sobre el medio ambiente llegan a ser en algunos casos consecuencias fatales.

En México, los establecimientos comerciales, industriales y de servicio, han incrementado el manejo de sustancias peligrosas, siendo las tóxicas, explosivas e inflamables, las que pueden percibir de manera más importante en la población.

Por otro lado, el crecimiento poblacional y la ubicación de los asentamientos humanos con relación a las industrias o establecimientos presentan riesgo a la población.

Además, si se toma en cuenta que en México, su territorio se encuentra ubicado en una región en la que se presentan con probabilidad significativa, fenómenos naturales que conducen o pueden conducir a daños importantes a las instalaciones industriales, se hace necesario considerar el riesgo producido por fenómenos naturales como la sismicidad, inundación, etc.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en su artículo 5º, fracción X contempla: *Asuntos de alcance general en la nación o de interés de la federación la regulación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas, según esta y otras leyes y sus disposiciones reglamentarias por la magnitud o gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico o el ambiente.*

Lo que hace que la regulación de tales actividades considerados como altamente riesgosas por la magnitud o gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico sea tratada como asunto de alcance general de la nación o de interés de la federación.

Para el establecimiento de una actividad de alto riesgo se hace necesario tomar en cuenta las propiedades físico-químicas de las sustancias que se manejen, así como la cantidad de reporte que en cada caso convierte la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento o uso de dicha sustancia en actividades que de producirse la liberación, fuga o derrame de la misma, provocaría la presencia de límites de concentración superiores a los permisibles, en un área determinada pudiendo ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

La necesidad de evaluar el riesgo ambiental surge de la importancia de preservar el o los ecosistemas o a la población, o a sus bienes circuncantes a los sitios en donde se efectúan actividades riesgosas.

El uso de metodologías para el análisis de riesgo ambiental está en práctica en diversos países, en México, el ejemplo más notable es la aplicación del **procedimiento de riesgo ambiental** a actividades con un elevado potencial de riesgo, instrumento mediante el cual se evalúan los proyectos de obra que presentan un significativo potencial de afectación a su entorno dadas las características inherentes a sus procesos y sustancias peligrosas que se manejan, donde destacan los proyectos de la industria química y petroquímica.

Con la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente se fundamentan las bases por primera vez en México, para la presentación de los estudios de riesgo ambiental, la elaboración de las normas técnicas ecológicas y criterios ecológicos que determinan los parámetros dentro de los cuales se garantizan las condiciones necesarias para el bienestar de la población y para asegurar la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente, las normas técnicas de seguridad y operación para las actividades altamente riesgosas y la instrumentación de los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades.

En la presente tesis se exponen los principales modelos y metodologías para estimar el riesgo que representa la instalación y operación de una estación de servicio de gas L.P.

En el capítulo I se analizan los registros históricos de las sustancias que se presentan con más frecuencia en los diferentes accidentes industriales ocurridos en México, también se establece el tipo de instalaciones que comúnmente están expuestas al riesgo de accidentes.

En el capítulo II se describe el diseño y construcción de las estaciones de gas L.P.

En el capítulo III se presentan los modelos para analizar y evaluar una estación de servicio en caso de una falla.

En el capítulo IV se describen los principales métodos de identificación y evaluación de riesgo en una instalación, así como su aplicación.

Finalmente, en el capítulo V se presenta un ejemplo de identificación y evaluación de riesgo con la finalidad de integrar la información de los capítulos anteriores e ilustrar, de forma general, cómo se realiza un estudio ambiental.

Cuadro I.3 temperatura o punto de ignición

Gas o vapor	Punto de ignición (°C)
Propano	493
n-butano	408
Isobutano	462

Los gases inflamables son peligrosos sólo si entran en ignición. La identificación de fuentes y posibilidades de ignición es una parte muy importante del análisis.

Es conveniente dividir la ignición en dos categorías de acuerdo al tiempo que tarda en iniciarse:

a) Ignición inmediata:

En este caso el gas entra en ignición mientras está todavía escapando de su recipiente. La ignición inmediata previene el desarrollo de una nube grande de vapor, pero puede ocasionar una "flama jet" o una "bola de fuego", dependiendo de la naturaleza de la liberación. Esto puede provocar daño en la vecindad inmediata de la liberación, pero rara vez afecta más allá de las fronteras donde se produce.

b) Ignición retardada:

Esta ocurre después que el material ha escapado de su recipiente y ha formado una nube que se mueve en la dirección del viento. La ignición retardada puede provocar una explosión o un "fogonazo", que causaría daños en un área amplia.

Los cálculos de los efectos de calor y presión debidos a fuego o a explosión se usan para evaluar las tragedias y daños materiales, y el efecto *dominó*¹, o sea el daño causado a otros elementos que contengan material peligroso. Otra parte importante del análisis de una liberación de gas es el cálculo de la densidad de la nube, dado que la densidad es un factor principal para determinar qué tan lejos viajará la nube y su dispersión antes de que tenga una concentración segura.

¹ Efecto dominó es la consecuencia de ondas de expansión y de proyectiles de una explosión que pueden romper la integridad de otros cilindros que contengan materiales inflamables u/o tóxicos, causando una explosión o contaminación de la atmósfera.

Una vez que se han definido los casos de liberación, deben considerarse las propiedades relevantes del material liberado. Dichas propiedades se presentan en los cuadros .2 y .3

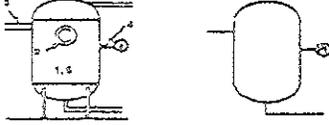
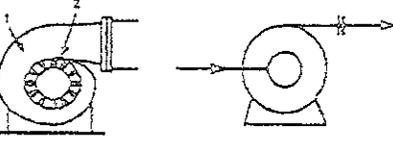
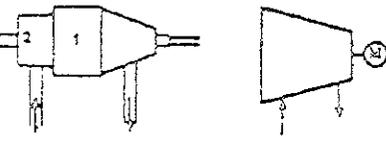
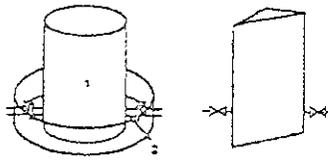
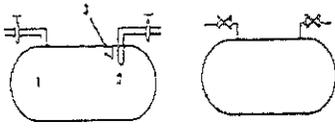
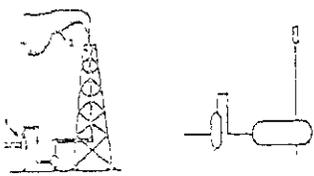
Cuadro 1.2 propiedades físicas de hidrocarburos ligeros
 (Componentes del gas L.P.)

PARAMETROS	Propano	isobutano	Butano
Fórmula	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₄ H ₁₀
Volumen molecular del gas, pies ³ +	372.7	366.7	365.4
Peso molecular del gas	44.09	58.12	58.12
Gal/lb mol a 60 °F	10.47	12.38	11.94
Peso			
% de Carbono	81.72	82.66	
% de Hidrógeno	18.28	17.34	17.34
Densidad Relativa			
Del Líquido (agua = 1)	0.508	0.563	0.584
Del Líquido A.P.L.	1.47	1.20	1.11
Del Gas (aire = 1)	1.550	2.077	2.084
Pesos y Volúmenes			
Lb/gal de líquido	4.235	4.694	4.873
Pie ³ de gas/gal de líquido	36.28	30.65	31.46
Pie ³ de gas/lb de líquido	8.55	6.50	
Razón, volumen de gas a volumen de líquido *	272.7	229.3	237.8
Punto de ebullición inicial (Presión Atmosférica)	-43.7	10.9	31.1
Poder Calorífico (bruto)			
Btu/pie ³ de gas	2 522	3 163	3 261
Btu/lb de líquido	21 560	20 732	21 180
Btu/gal de líquido	91 500	103 750	102 600
Presión de Vapor, lb/pulg ² , abs.			
A -44 °F	0	-9	-12
A 0 °F	38	12	-7
A 33 °F	54	17	0
A 70 °F	124	45	31
A 90 °F	165	62	44
A 100 °F	189	72	52
A 130 °F	275	110	81
A 150 °F	346	138	87
Calor Latente de vaporización en el punto de ebullición:			
Btu/lb	185	158	167
Btu/gal	785	742	808
Calor Específico:			
Del líquido en Cp y 60 °F, Btu/(lb) (°F)	0.588	0.560	0.549
Del gas, en Cp y 60 °F, Btu/(lb) (°F)	0.390	0.406	0.396
Del gas, en Cv y 60 °F, Btu/(lb) (°F)	0.346	0.373	0.363

+ Gas Ideal = 379.5 pies³

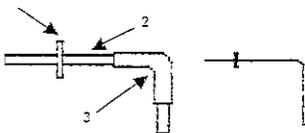
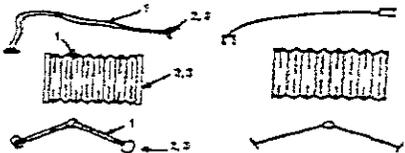
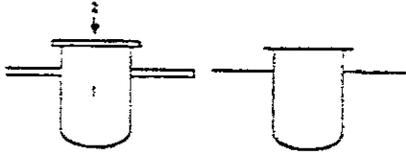
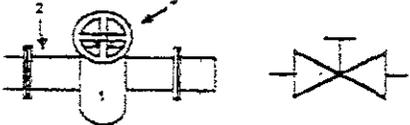
* Basado en el "gas perfecto"

Cuadro I.1 casos típicos de falla de una estación de gas L.P.
 (Continuación)

Esquema/símbolo	Concepto	Fallas típicas	Dimensiones sugeridas de falla para el cálculo de la cantidad de material liberado
	<p>Depósitos de presión/depósitos de proceso Incluye: Separadores, lavadores, tanques de contacto, reactores, intercambiadores de calor, columnas, etc.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ruptura del depósito: Fuga del depósito 2. Fuga en la cubierta del registro 3. Falla en la admisión 4. Falla en la línea de instrumentos 5. Explosión interna 	<p>Ruptura total: 100% del diám. del tub. Mas carga 20% del diám. de la apertura 100% del diám. del tubo 100 y 20% del diám. del tubo Ruptura total</p>
	<p>Bombas Incluye: Bombas centrífugas, bombas recíprocas</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla de la carcasa 2. Fuga en la garganta 	<p>100 y 20% del diám. del tubo 20% del diám. del tubo</p>
	<p>Compresores Incluye: compresores centrífugos, compresores axiales, compresores recíprocas</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla en la carcasa 2. Fuga en la garganta 	<p>100 y 20% del diámetro 20% del diámetro</p>
	<p>Tanques de almacenamiento (en condiciones ambiente) Incluye Todos los tanques a condiciones ambiente (Las conexiones de los tubos y muros de contención de derrames también se consideran como parte de este componente)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Falla del tanque 2. Fuga en conexiones 	<p>Ruptura total 100 y 20% del diám. del tubo</p>
	<p>Tanques de almacenamiento (presurizados o refrigerados) Incluye: Tanques presurizados o depósitos para transporte, almacenamientos refrigerados</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. BLEVE 2. Ruptura 3. Falla en la soldadura <p>Nota Estos tanques de almacenamiento pueden tener muros de contención de derrames los cuales deben ser considerados en el análisis.</p>	<p>Ruptura total Ruptura total 100 y 20% del diám. del tubo</p>
	<p>Columna de venteo Incluye Todas las columnas de venteo</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga en registro 2. Descarga fuera de especificación 	<p>100 y 20% del diám. del tubo Debe ser estimada</p>

1. BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion)
2. Ruptura
3. Falla de soldadura
4. Falla de tubería (incluye tramos rectos, codos y uniones)
5. Falla en la bomba
6. Falla de conexiones flexibles (manguera para suministro)
7. Falla de válvulas
8. Falla de la estructura de sustentación
9. Falla del operador
10. Falla del empleado de la empresa distribuidora de gas L.P.
11. Falla en el vehículo repartidor con depósito de gas L.P.

Cuadro I.1 Casos típicos de falla de una estación de gas L.P.

Esquema/símbolo	Concepto	Fallas típicas	Dimensiones sugeridas de falla para el cálculo de la cantidad de material liberado
	Tuberías Incluye: Tubos, bridas, soldaduras, codos	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga en brida 2. Fuga en tubo 3. Falla de soldadura 	20% del diám. del tubo 100 y 20% del diám. del tubo 100 y 20% del diám. del tubo
	Conexiones flexibles Incluye: Mangueras, conectores, brazos articulados	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga por ruptura 2. Fuga en conexión 3. Falla del mecanismo de conexión 	100 y 20% del diám. del tubo 20% del diám. del tubo 100% del diám. del tubo
	Filtros Incluye: Filtros	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga del cuerpo 2. Fuga en tubos 	100 y 20% del diám. del tubo 20% del diám. del tubo
	Válvulas Incluye: Estera, compuerta, globo, pistón, aguja, manopla, de liberación, de retención	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga en el cuerpo 2. Fuga en la cubierta 3. Falla de vástago 	100 y 20% del diám. del tubo 20% del diám. del tubo 20% del diám. del tubo

En los aspectos de riesgo en general, se debe hacer énfasis en los incidentes episódicos, que se refieren a acontecimientos súbitos o inesperados que pueden durar un instante u horas, en comparación con sucesos rutinarios o de largo plazo. Por ejemplo, el escape de sustancias tóxicas peligrosas, el fuego, una explosión, un escape súbito de energía, podría producir muertes, heridas graves o serios efectos peligrosos para la salud de empleados o al público y daños a la propiedad.

Las emisiones fugaces y emisiones escalonadas normales no son episódicas.

1.3 Identificación de eventos probables de riesgo.

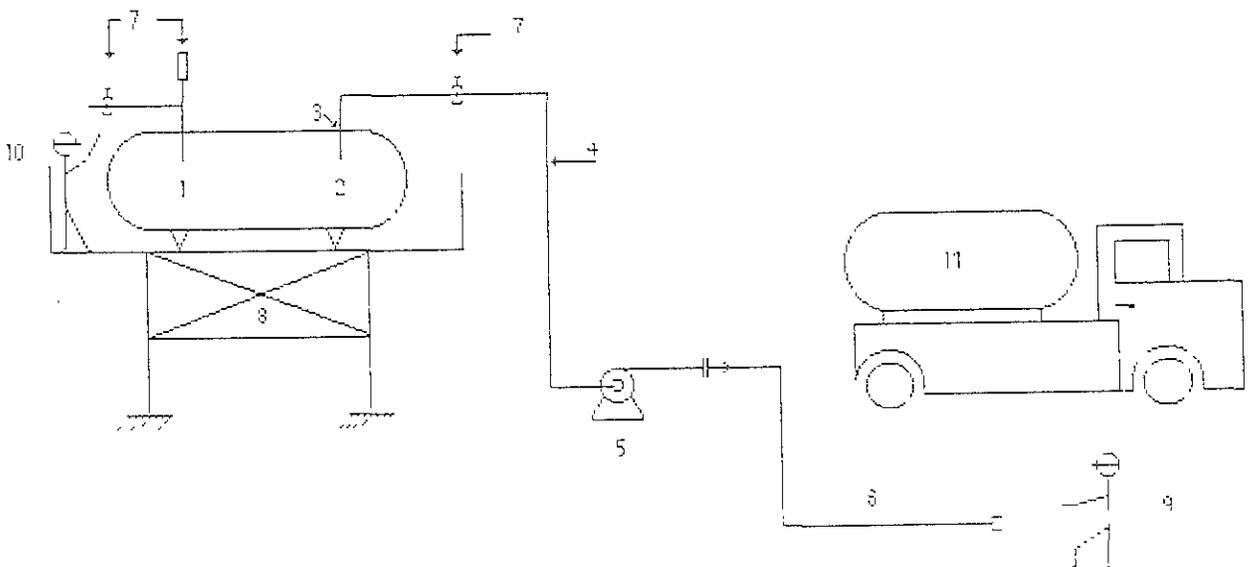
Esta fase es fundamental para el estudio de riesgo dado que constituye el punto de partida y condiciona su planteamiento. En esta fase se identifica la existencia del peligro y se definen las características del acontecimiento: por ejemplo, la ocurrencia de escapes accidentales de los tanques de almacenamiento o las tuberías de gas licuado y la descripción del gasto y geometría del escape y las condiciones climatológicas que definen el acontecimiento peligroso

Se consideran dos tipos de métodos para una identificación de eventos probables de riesgo. Cualitativos y Semicualitativos. (Capítulo IV)

Identificación de fallas potenciales

El primer paso en el análisis es identificar los casos representativos de liberación de material peligroso. Los casos de liberación son accidentes o fallas que pueden llevar a un episodio.

En la Figura 1.6 se muestran, las fallas típicas y en el cuadro 1.1 se presentan los casos típicos de falla de una instalación de gas L.P.

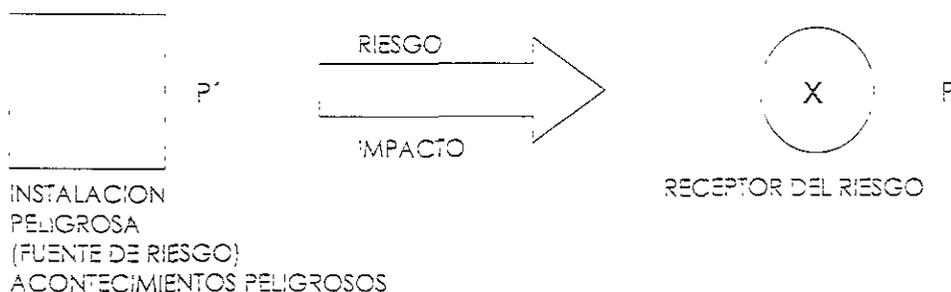


El nivel de riesgo es determinado a criterio de la autoridad en función de la vulnerabilidad de la instalación, a partir del tipo de proceso, del tipo de sustancias manejadas, ubicación de las instalaciones y sensibilidad de la población.

Los aspectos básicos que se consideran en los estudios de análisis de riesgo que requieren incorporar las empresas para mejorar los niveles de seguridad y operación en sus actividades industriales, son:

1. La detección y jerarquización de los puntos críticos. Consiste en detectar los puntos críticos en los cuales se pueden presentar fallas susceptibles de impactar negativamente a las instalaciones y a su entorno.
2. Evaluación de las consecuencias de accidentes. Esta evaluación de consecuencias permite determinar las áreas de riesgos de los accidentes identificados por medio de la aplicación de modelos de simulación. Esta etapa es fundamental para definir medidas de protección y de planeación de contingencias.
3. Determinación de las probabilidades de accidentes. La evaluación de probabilidades permite determinar las causas últimas que provocan los accidentes identificados, así como su frecuencia de ocurrencia. Se realiza con aplicación de metodologías específicas. Esta etapa permite definir las medidas de prevención de accidentes.
4. Selección de opciones para reducir los riesgos. Tras el desarrollo y análisis de las etapas mencionadas podrán establecerse las medidas de reducción de riesgos de las instalaciones en estudio.

En la evaluación de riesgos, lo importante es establecer los límites de los efectos que produciría un accidente (zonas de riesgo), ya que estos permiten salvaguardar la salud y los bienes de los habitantes que viven alrededor, o en vecindad con instalaciones de alto riesgo.



Elementos involucrados en una situación de riesgo

1.2 Escenarios de riesgo

Los accidentes se pueden presentar por causas naturales o antropogénicas. El riesgo total que presenta una instalación industrial, puede deberse a:

- a) Causas intrínsecas al proceso industrial, como es la naturaleza de los materiales que se manejan, condiciones de operación, así como la disposición, distribución y transporte de los materiales peligrosos; y
- b) Causas inherentes al sitio de implantación, ya que pueden existir factores que magnifiquen los riesgos, como pueden ser: condiciones meteorológicas adversas, sismos, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas sensibles, carencia de infraestructura para responder a accidentes, entre otros.

En virtud de lo anterior, es necesario desarrollar y aplicar técnicas de análisis de riesgo ambiental, así como políticas del uso del suelo que eviten la coexistencia de zonas urbanas o ecológicamente sensibles y áreas industriales de alto riesgo, para prevenir daños y mitigarlos en el caso de presentarse emergencias ambientales.

Áreas de salvaguarda (zis)

El cálculo de consecuencias permite en última instancia conocer las áreas de riesgo de los accidentes. El Instituto Nacional de Ecología (INE) utiliza como criterios de protección en la evaluación de riesgos, los que se definen a continuación.

Zona intermedia de salvaguarda (zis). incluye las áreas en las cuales se presentarían límites superiores a los permisibles para la salud del hombre, afectaciones a sus bienes y al ambiente en caso de fugas accidentales y/o derrames accidentales de sustancias tóxicas y de presencia de ondas de sobrepresión en caso de formación de nubes explosivas, esta zona está conformada, a su vez, por dos zonas; la zona de riesgo y la zona de amortiguamiento.

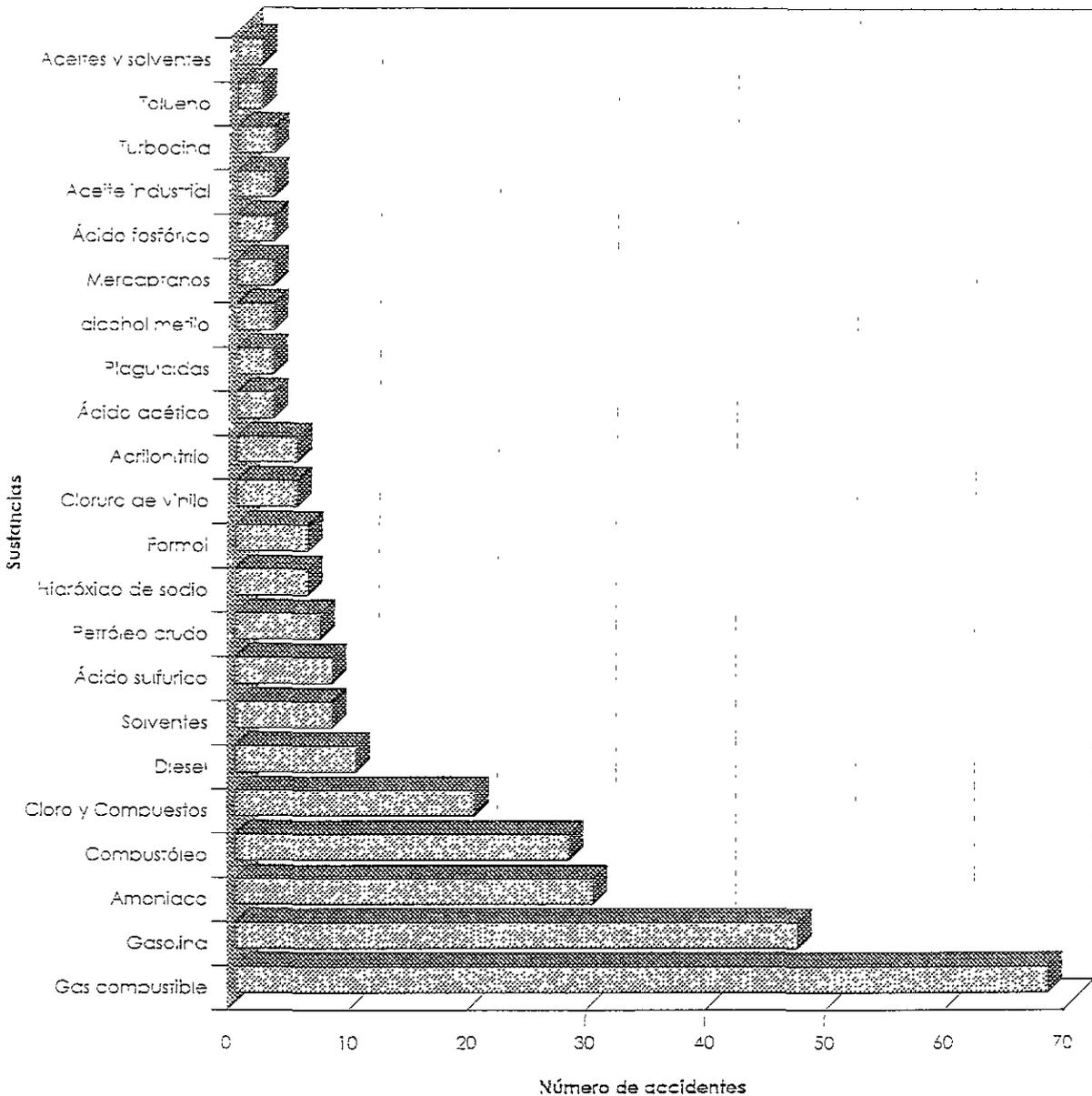
Zona de riesgo: es la zona de restricción total en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo los asentamientos humanos y la agricultura, con excepción de actividades de forestación, el crecimiento de la misma así como el mantenimiento y vigilancia

Zona de amortiguamiento: es la zona donde se pueden permitir determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al medio ambiente, restringiendo el crecimiento de la población ahí asentada y capacitándola en los programas de emergencia que se realicen para tal efecto

Las instalaciones inadecuadas y la falta de mantenimiento fueron las principales causas de accidentes. Las unidades de transporte en mal estado y falta de identificación del material contenido, fueron la causa de que el suceso tomara otras dimensiones. Por ejemplo, la ignorancia en el manejo o la inexperiencia en el uso de las guías incrementaron las consecuencias en pérdida de vidas humanas y causaron mayor daño al ambiente.

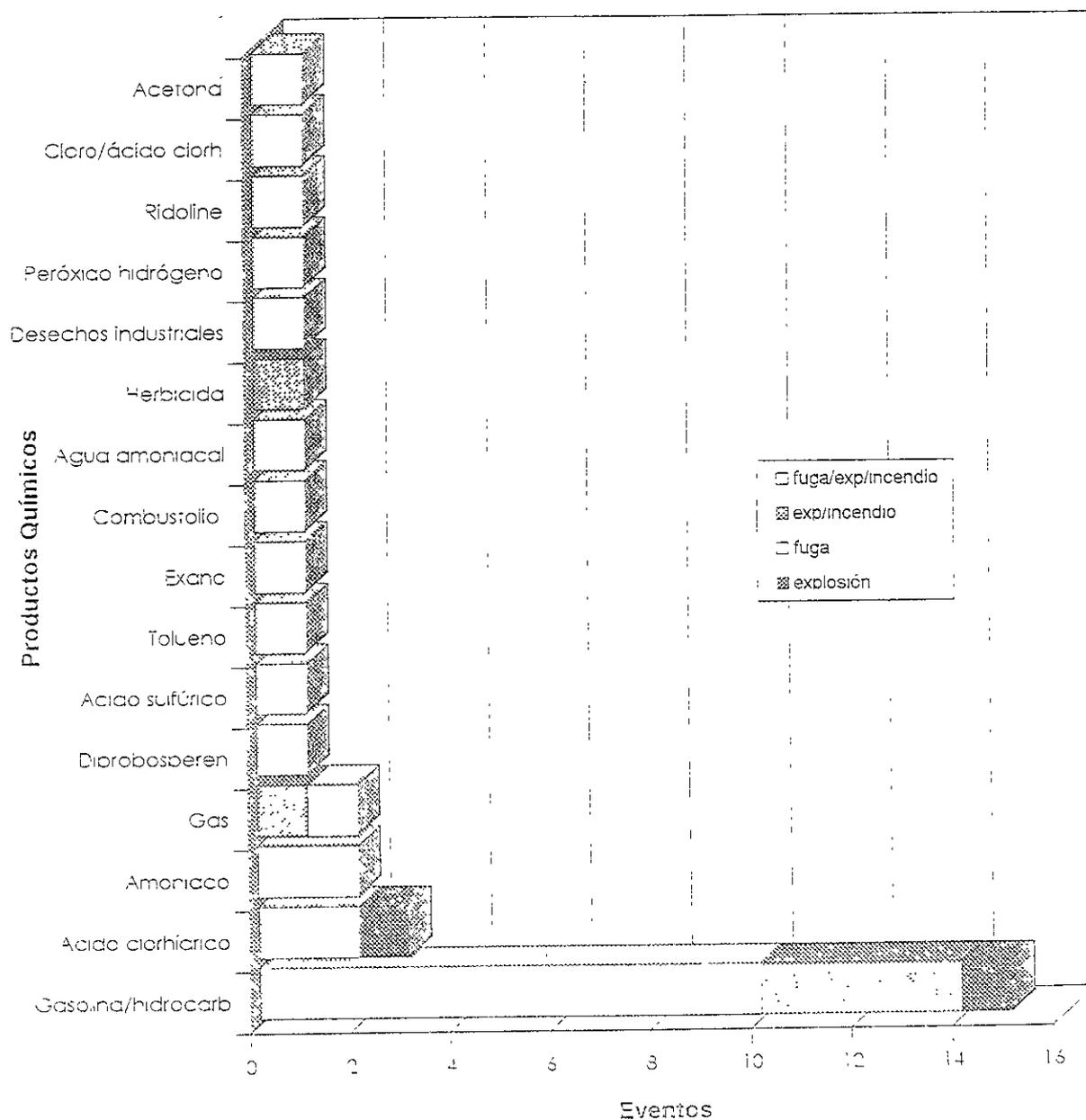
El corto circuito se presentó como causa en 11 incendios. El gas, la gasolina y el amoníaco, son las principales sustancias químicas involucradas (Figura 1.5).

Figura 1.5. Sustancias involucradas en accidentes químicos 1990-1993



En Jalisco, de los 36 accidentes ocurridos, 58 % fueron en las instalaciones, principalmente asociados a derrames, explosiones y fugas que involucraron el 19 % a la gasolina y el 9 % al ácido clorhídrico, los demás estuvieron relacionados con gas L.P., acrílonitrilo y otras sustancias químicas (Figura I.4)

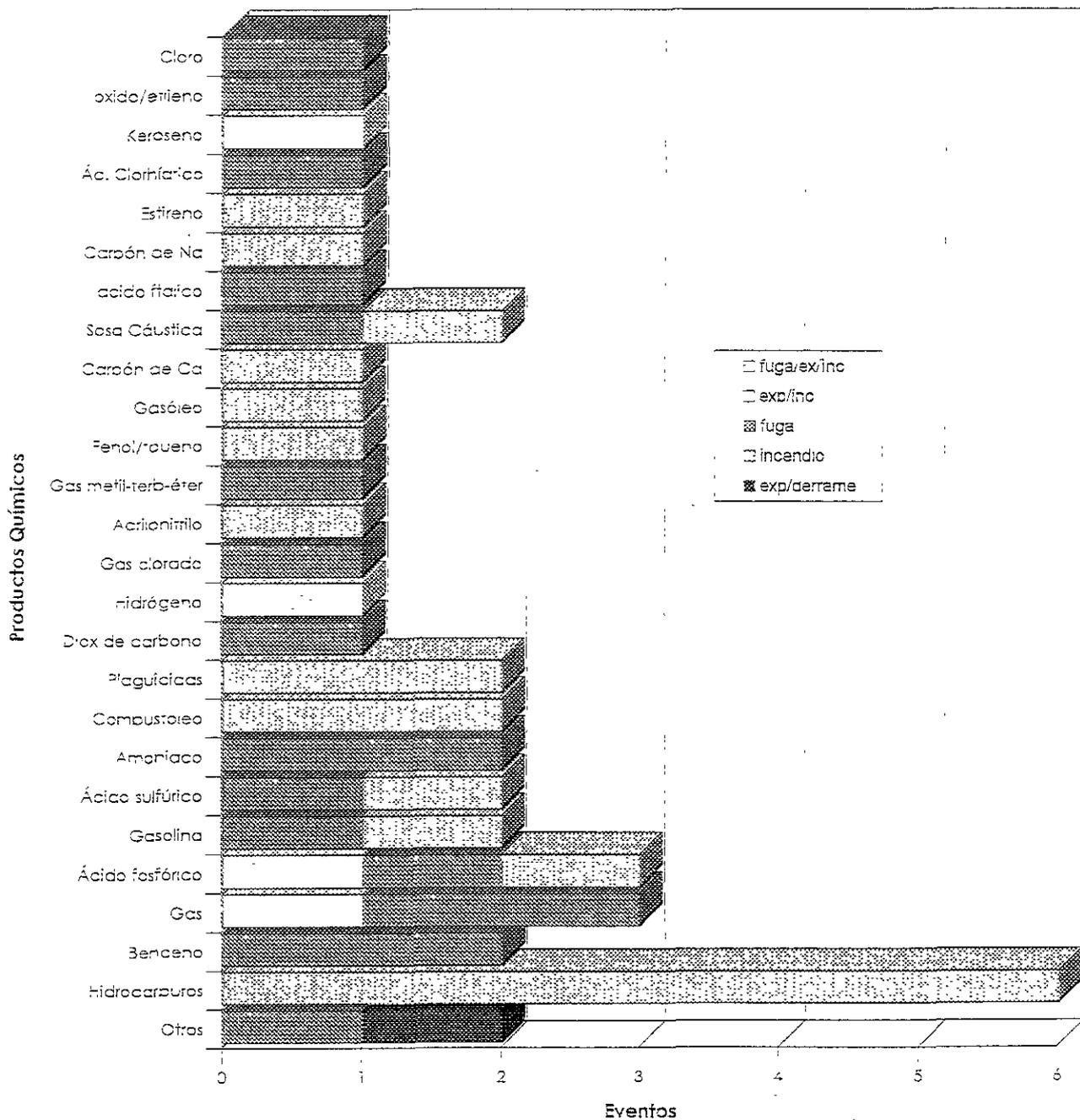
Figura I.4. Accidentes relacionados con productos químicos en Jalisco 1990-1993



El número de accidentes ocurridos durante el transporte de los materiales potencialmente peligrosos fue menor a los que se produjeron en las instalaciones, barios o almacenes de las industrias

En Veracruz se originaron 42 accidentes, 52 % de ellos dentro de las instalaciones: 14 % relacionados con hidrocarburos, 7 % con ácido fosfórico y el resto con diversos productos químicos (Figura 1.3).

Figura 1.3. Accidentes relacionados con productos químicos en Veracruz, 1991 -1993



En el Distrito Federal se produjeron 58 accidentes, principalmente por fugas y derrames dentro de instalaciones (74 %), que involucraron hidrocarburos, gas L.P. y disolventes (Figura 1.2).

Figura 1.2. Accidentes relacionados con productos químicos en el Distrito Federal 1990-1993

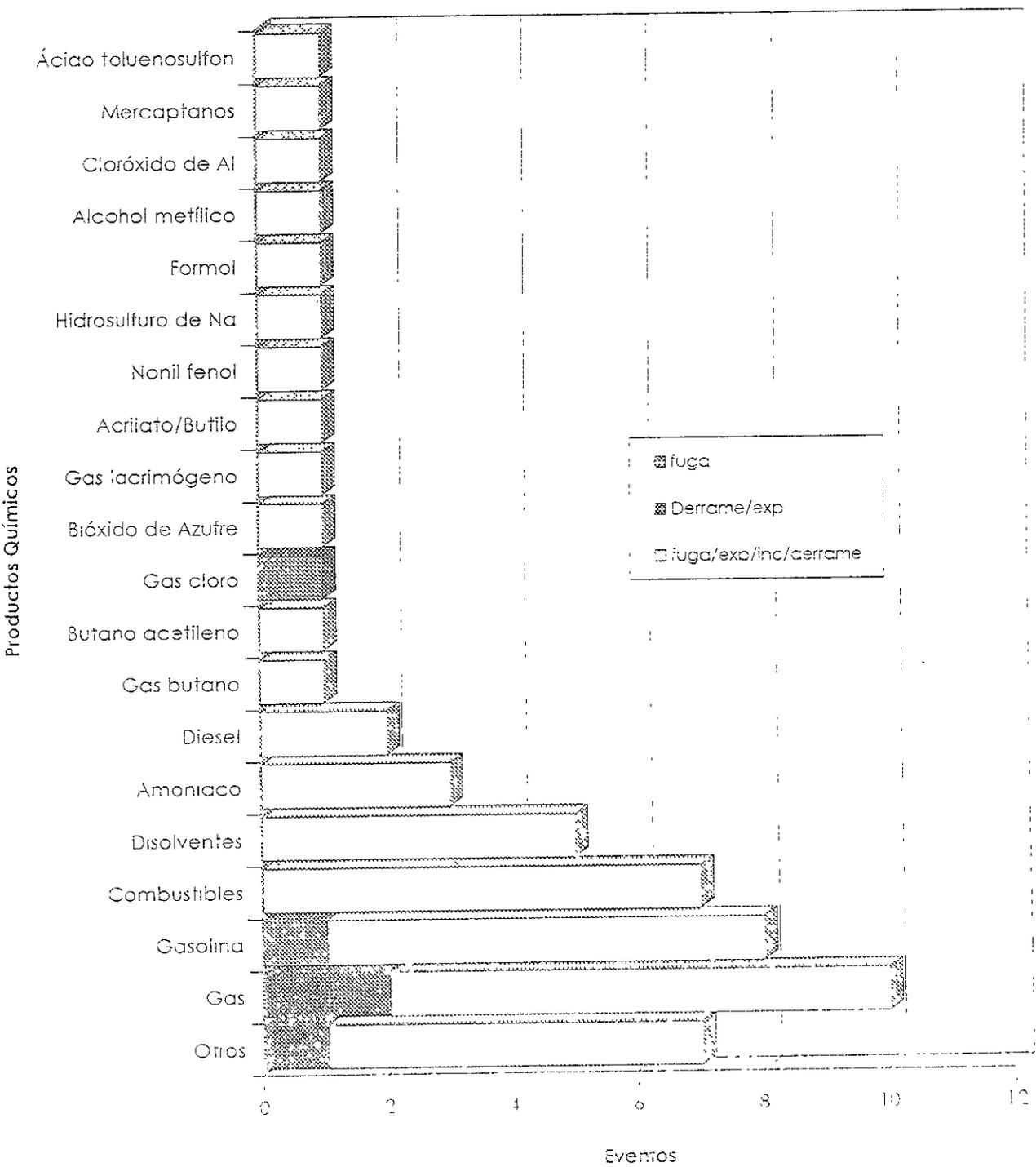
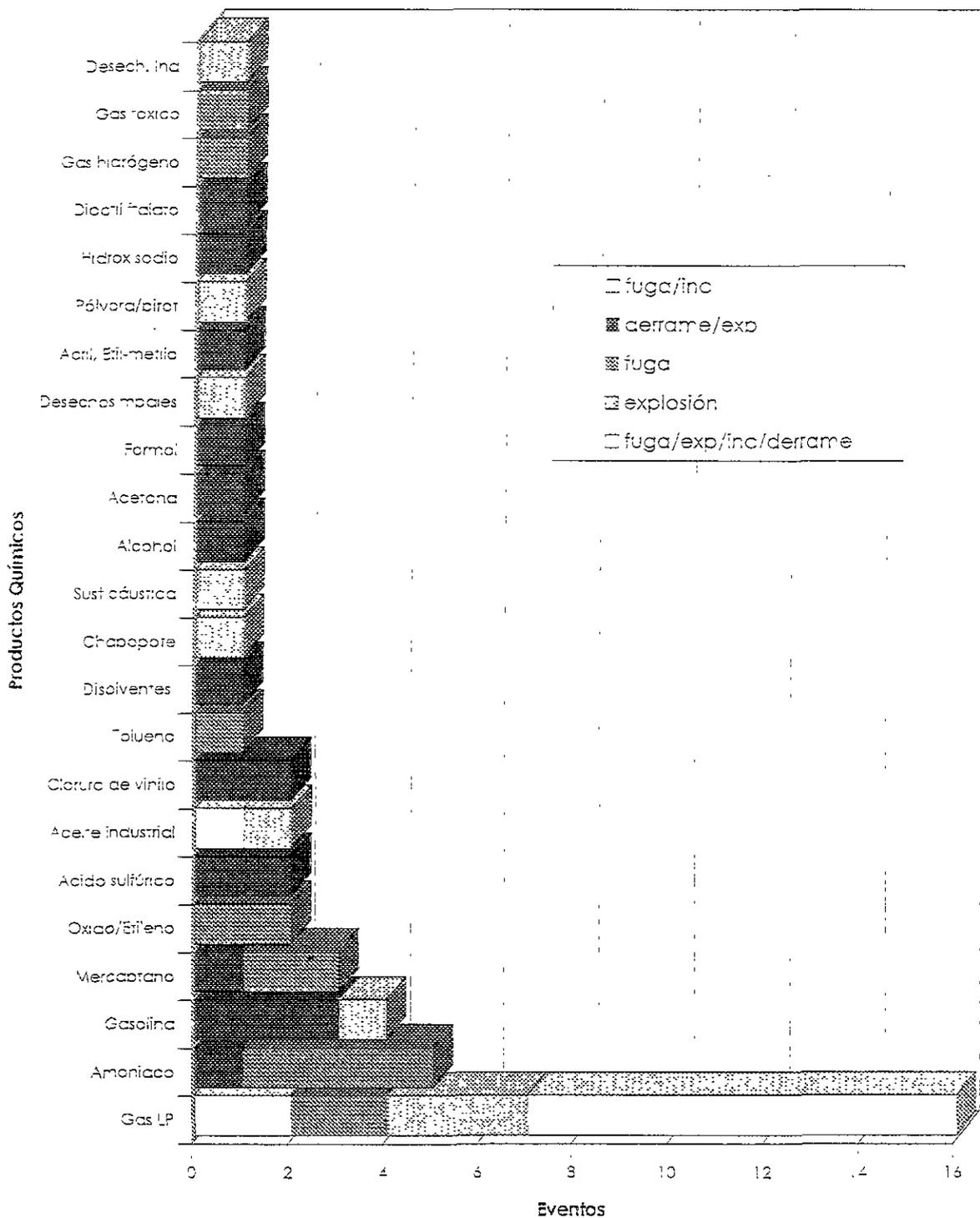


Figura I.1. Accidentes relacionados con productos químicos en el Estado de México
1990-1993



La determinación de los riesgos de accidentes mayores es el punto de partida de cualquier sistema de control y, una vez que se han indicado, se establece el programa para aplicar los diversos componentes del sistema. Este proceso mostrará qué materiales peligrosos se encuentran comúnmente en cantidades que representan un riesgo importante y que requieren, en consecuencia, una atención prioritaria.

1.1 Fallas típicas

Dada la diversidad y complejidad de la industria en general, no es posible circunscribir las instalaciones que presentan los riesgos principales a ciertos sectores de actividad industrial. Sin embargo, la experiencia muestra que las instalaciones con mayores riesgos está comúnmente relacionadas con las actividades siguientes:

- a) Fábricas de productos petroquímicos y refinerías;
- b) Fábricas de productos químicos y plantas de producción de éstos;
- c) Almacenamiento y terminales de gas licuado de petróleo;
- d) Almacenes y centros de distribución de productos químicos;
- e) Grandes almacenes de fertilizantes;
- f) Fábricas de explosivos; y
- g) Fábricas en que se utiliza cloro en grandes cantidades.

Se destacan como causas de dichos accidentes industriales:

- Los errores de organización.
- Los factores humanos.
- Las averías o deficiencias de una pieza.
- Las desviaciones con respecto de las condiciones normales de funcionamiento.
- Las injerencias del exterior.
- Los fenómenos naturales.

El Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de la Secretaría de Gobernación, integró un documento en el que se refieren los accidentes químicos ocurridos en la República Mexicana en el período de 1990 a 1993. En él se identifican 370 incidentes, de los cuales alrededor del 70% tuvieron lugar en el interior de las instalaciones en las que se manejan o almacenan sustancias químicas peligrosas. Desafortunadamente, en virtud de no existir un mecanismo sistemático y confiable para recuperar y registrar la información relativa en accidentes, no es posible definir con precisión sus causas. Un análisis por entidad federativa en la que sucedieron esos accidentes indica que éstos ocurrieron, en particular, en las entidades más industrializadas.

En el Estado de México ocurrieron 67 accidentes, 55 % de ellos en el interior de alguna instalación. Predominaron los derrames y fugas que en 37 % de los casos involucraron gas licuado de petróleo, amoníaco y gasolina (Figura 1.1)

Capítulo I

Causas de falla y consecuencias

En octubre de 1987 como resultado de una fuga de nitrato de amonio, se requirió evacuar en Francia a 60,000 personas. En Bulgaria una explosión de cloruro de vinilo provocó la muerte de 17 personas y 19 heridos en noviembre de 1986. Una explosión de productos pirotécnicos mató a 11 personas e hirió a ocho más en Filipinas en abril de 1986. En febrero de ese año, un escape de cloro que se produjo en los Estados Unidos lesionó a 76 personas. En Bhopal, India, en 1984 se presentó un acontecimiento desastroso como resultado de una emisión de la sustancia química isocianato de metilo, que provocó más de 6,600 muertes y 350,000 heridos, dos semanas antes se había producido una explosión de gas natural en México, en San Juan Ixnuantepec, Estado de México, que ocasionó la muerte de 650 personas y heridas a varios miles. Estos son tan sólo algunos de los accidentes ocurridos recientemente en el mundo en los que se han visto involucradas instalaciones que manejan sustancias químicas peligrosas.

Aunque estos casos se produjeron de diferente forma y fueron diferentes las sustancias químicas que intervinieron en ellos, todos tienen una característica en común: fueron acontecimientos no controlados, constituidos por incendios, explosiones o escapes de sustancias tóxicas que ocasionaron la muerte o lesiones de un gran número de personas dentro y fuera de la instalación, causando daños a bienes y al ambiente natural. El almacenamiento y la utilización de sustancias químicas inflamables, explosivos o tóxicos que pueden causar esos desastres se acostumbra designarlas como riesgos de accidentes mayores.

Cualquier sistema de control de riesgos de accidentes mayores debe establecer prioridades que difieren de un país a otro. Es siempre probable que los recursos sean limitados tanto en los diversos organismos públicos como en la industria y, en consecuencia, se debe prestar particular atención para que las medidas de control de los riesgos se orienten hacia los sectores prioritarios.

Es impropio examinar todos los posibles procesos industriales que podrían dar origen a lesiones o muertes y designarlos como riesgos de accidentes mayores. La lista definitiva resultaría enorme y difícil de manejar en cualquier país.

Esto obliga a definir los riesgos principales por medio de una lista de sustancias peligrosas con las cantidades conexas que pueden originar el accidente, de modo que las instalaciones industriales que entren en el campo de la definición, como fábricas o talleres sujetos a riesgos graves, sean reconocidas como las que requieren una atención prioritaria, es decir, las que presentan el peligro potencial de causar un accidente muy grave que es probable que afecte a seres humanos dentro y fuera del lugar donde suceda, así como al ambiente.

Capítulo II

Descripción de las estaciones

II.1 Normatividad para diseño y construcción de estaciones de servicio de gas L.P.

II.1.1 Introducción

II.1.1.1. Definición

Las estaciones de suministro de gas carburante son los sistemas fijos o de tanques móviles, que mediante las instalaciones apropiadas, dispositivos de control y de seguridad se destinan exclusivamente a suministrar gas para uso en motores de combustión interna.

II.1.1.2. Objetivo

Establecer los requisitos mínimos técnicos y de seguridad que se deben cumplir para el diseño y construcción de una *estación de servicio de gas L.P.*, con el fin de que opere dentro de las máximas condiciones de seguridad y funcionalidad preservando la integridad del medio ambiente.

II.1.1.3. Ámbito de aplicación

Su observancia es de carácter obligatorio a nivel nacional

II.1.1.4. Referencias

Las normas oficiales mexicanas y normas mexicanas vigentes relacionadas son:

NMX-B-10-1990	Tubos de acero al carbono con o sin costura, negros o galvanizados por inmersión en caliente.
NMX-CH-26-1967	Calidad y funcionamiento de manómetros para gas L.P. y natural.
NMX-CH-36-1994-SCFI	Instrumentos de medición –aparatos para pesar– características y cualidades metroológicas.
NMX-1-1970	Gas licuado de petróleo.
NMX-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-021/3-SCFI-1993	Recipientes sujetos a presión no expuestos a calentamiento por medios artificiales para contener gas L.P., tipo no portátil para instalaciones de aprovechamiento final de gas L.P., como combustibles.
NOM-005-STPS-1993	Almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.
NOM-008-SCFI-1993	Sistema general de unidades de medida.
NOM-027-STPS-1993	Señales y avisos de seguridad e higiene.
NMX-X-13-1965	Válvula de retención para uso en recipientes no portátiles para gas L.P.
NMX-X-29-1985	Mangueras con refuerzos de alambre o fibras textiles para gas L.P.
NMX-X-31-1983	Instalación de gas natural o L.P.; vapor y aire válvulas de paso.
NMX-X-4-1967	Califica y funcionamiento para conexiones utilizadas en mangueras para la conducción de gas natural y L.P.
NOM-018/1-SCFI-1993	Distribución y consumo de gas L.P.- Recipientes portátiles y sus accesorios para contener gas L.P. parte 1, recipientes.
NOM-025-SCFI-1993	Estaciones de gas L.P., con almacenamiento fijo.- Diseño y construcción.
NOM-001-SEMP-1994	Relativa a las instalaciones destinadas al suministro y uso de energía eléctrica.

1.1.1.5. Glosario de términos

Accesorios:

Elementos necesarios para el manejo, control, medición y seguridad en una planta

Áreas de trasiego:

Lugares de una planta donde se realizan operaciones de:

- Suministro de gas L.P. a vehículos propiedad de la empresa. (Área de carburación)
- Llenado de recipientes portátiles. (Área de llenado)
- Descarga de semirremolques, carrotanques. (Área de recepción)
- Carga de autotanques. (Área de suministro)

Área de venta al público:

Área exclusiva para la venta de gas L.P., en recipientes portátiles al público.

Boca de trasiego:

Punto en que se conecta al sistema de trasiego una manguera, adaptador o acopiador.

Capacidad de agua:

Volumen en litros de los recipientes llenos al 100%.

Equipo:

Instrumentos, aparatos y herramientas que se utilicen en la operación.

Gas L.P. o gas licuado de petróleo:

El combustible en cuya composición química predominan los hidrocarburos butano y propano o sus mezclas y que contiene propileno o butileno o mezclas de estos como impurezas principales.

Límites de inflamabilidad:

Son los valores mínimo y máximo de concentración de gas L.P. en una mezcla de gas-aire capaz de encenderse.

Planta de almacenamiento para gas L.P.:

Sistema fijo y permanente para almacenar gas L.P. y que mediante instalaciones apropiadas haga el trasiego de éste. Puede ser exclusiva para llenado de recipientes, o para carga y descarga de transportes y autotanques, o mixta. En lo sucesivo se le cita como planta para efectos de esta Norma.

Presión de diseño:

Presión para la que se proyecta el sistema de tuberías de una planta, debiendo ser como mínimo de 2.40 Mpa (24.61 kgf/cm²). Con ella se definen las especificaciones para tuberías, bombas y compresores y accesorios que están en contacto con el gas L.P., excepto tanques de almacenamiento.

Presión de trabajo:

Presión máxima a la que opera el sistema en condiciones normales.

Punto de fractura de una tubería:

Es el punto en el que al aplicarse una fuerza imprevista obliga a la separación del elemento en que se encuentra.

Recipientes portátiles:

Recipientes diseñados y contruidos para contener gas L.P., con una capacidad de almacenamiento máxima de 45 kg, que han sido fabricados bajo la NOM-018/1-SCFI-1993, o la vigente a la fecha de su fabricación.

Reglamento

El reglamento de distribución de gas licuado de petróleo vigente

Señal:

Protector de la válvula de recipientes portátiles, que tiene por objeto evitar que se altere el contenido de gas L.P. y el trasiego fuera de la planta.

Siglas:

Cuando en esta Norma aparezcan las abreviaturas siguientes se debe entender:

NMX	Norma Mexicana
NOM	Norma Oficial Mexicana
NPT	Nivel de Piso Terminado
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Sistema común contra incendio:

Aquel que parte de un solo cuarto de máquinas para interconectar las redes contra incendio de plantas colindantes, para proporcionar indistintamente la protección a cualquiera de ellas.

Sistema de trasiego:

Conjunto de tuberías, válvulas, equipo y accesorios para transferir gas L.P., construido para quedar instalado permanentemente en una planta.

Tanque de almacenamiento:

Recipiente no portátil sujeto a presión para contener gas L.P., instalado permanentemente en una planta.

Toma de trasiego:

Acoplamiento que permite la conexión del sistema de trasiego de la planta a un recipiente.

Trasiego:

Operación de transferir gas L.P. de un recipiente a otro.

Unidad de verificación en plantas:

Persona física o moral acreditada conforme se establece en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, para verificar y dictaminar el cumplimiento de esta Norma Oficial Mexicana.

Unidad de verificación en instalaciones eléctricas:

Persona física o moral acreditada en la especialidad de instalaciones eléctricas, conforme se establece en la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, para verificar y dictaminar el cumplimiento de la Normatividad Oficial Mexicana aplicable.

1.1.2 Requisitos del proyecto

1.1.2.1 Datos generales del proponente y del ingeniero proyectista

El proyecto debe estar integrado por memoria técnica descriptiva y planos de cada aspecto técnico: civil, mecánico, eléctrico y contra incendio.

La memoria y los planos deben tener los datos del Ing. Proyectista: número de cédula profesional correspondiente a la licenciatura relacionada en la materia de los proyectos mencionados en el párrafo anterior, nombre completo y firma autógrafa; nombre completo y firma autógrafa del propietario o su representante legal; nombre completo, firma autógrafa y datos del registro de las unidades de verificación en plantas, en cada una de sus páginas.

Dentro de límites urbanos, se debe especificar el domicilio en forma precisa. Si está al costado de una carretera, indicar el número de ésta, señalando las poblaciones inmediatas y el kilómetro que corresponda al predio; en caso contrario se deben proporcionar los datos exactos para su localización. En todos los casos se indica la jurisdicción municipal y entidad federativa correspondiente.

1.1.2.2 Planos

Se deben presentar planos con dimensiones máximas de 0.90 x 1.20 m. a escala, excepto en los casos en que se indique lo contrario, indicándola en forma gráfica o numérica y con acotaciones.

Cada uno de los planos debe contener la fecha de elaboración, nombre o razón social de la planta y su ubicación.

Los símbolos a utilizarse en los planos deben ser los que se indican en los anexos, sin menoscabo del uso de otros que no estén previstos.

Los planos deben indicar como mínimo:

Civil

- a) Nombre del propietario y actividades en los predios colindantes.
- b) Las construcciones, materiales y elementos utilizados en el proyecto.
- c) La ubicación de áreas de circulación y espuela de ferrocarril, en su caso.
- d) Las distancias entre los diferentes elementos de la planta
- e) Las características del armado de la estructura y cimentaciones, de las bases de sustentación de los tanques.
- f) Trazo de las redes hidráulica, sanitaria y drenaje a línea sencilla.
- g) Localización general, sin escala, de los elementos de la planta, señalando el norte geográfico y marcando la dirección de los vientos dominantes.
- h) Planta, elevación y corte longitudinal y transversal de la zona de almacenamiento.
- i) Planta, elevación y corte longitudinal y transversal del muelle de llenado, en su caso.
- j) Planta, elevación y corte longitudinal y transversal del área de venta de gas L.P. en recipientes portátiles, al público
- k) Plano de conjunto indicando distancias en un radio de 100 m a partir de las tangentes de los tanques de almacenamiento

Mecánico

- a) Corte o vista longitudinal y transversal de tanques de almacenamiento en el que se precise tipo y ubicación de válvulas y accesorios.
- b) Diseño con dimensiones, anclado y características de tomas de recepción, suministro y carburación.
- c) Diagrama isométrico a línea sencilla de la instalación de gas, sin escala, con acotaciones de las tuberías que se calculan, detallando todos sus componentes.
- d) Vista en planta de la tubería de gas a línea sencilla con ubicación de equipo.

Eléctrico

- a) Plano y elevación incluyendo localización de la acometida al interruptor general, así como de la subestación eléctrica, en su caso.
- b) Diagrama unifilar general.
- c) Cuadro de carga fuerza y alumbrado.
- d) Cuadro de materiales y descripción de equipos.
- e) Distribución de ductos y alimentadores.

Contra incendio

- a) Planta de la red contra incendio, indicando la localización de todos sus componentes.
- b) Diagrama isométrico a línea sencilla de la instalación contra incendio, sin escala, con acotaciones de las tuberías que se calculan, detallando todos sus componentes.
- c) Planta e isométrico a detalle del sistema de aspersión.
- d) Ubicación aproximada de extintores y áreas de cobertura en planta.
- e) Radios de cobertura de áreas que se proyecta cubrir con hidrantes y/o monitores en planta.
- f) Localización de alarma e interruptores de activación.

1.2.3 Memorias técnico-descriptivas

Deben contener nombre o razón social del propietario, número de autorización cuando ya se cuente con él, ubicación de la planta, y fecha de elaboración.

Deben presentarse memorias de los proyectos civil, mecánico, eléctrico y contra incendio. Cada memoria debe contener una descripción general y los datos usados como base para cada especialidad, los cálculos y hacer mención de las normas, reglamentos y/o referencias empleados.

Civil

- a) Dimensiones y orientación del predio de la planta y principales actividades que se desarrollan en los predios colindantes.

- b) Características de todas las construcciones indicando materiales empleados.
- c) Estudio de mecánica de suelos.
- d) Descripción y cálculo estructural de las bases de sustentación de tanques de almacenamiento.
- e) Descripción constructiva del muelle de llenado.
- f) Descripción del área de venta de gas L.P. en recipientes portátiles, al público, en su caso.
- g) Descripción de la circulación interior.
- h) Distancias entre las diferentes instalaciones, equipos, edificios y colindancias.
- i) Cuando sea aplicable, la descripción de las medidas de seguridad proyectadas para evitar los efectos de inundaciones y/o deslaves.

Mecánico

- a) Tanques de almacenamiento, sus características, instrumentos de medición, control y seguridad. Debe incluirse copia del certificado oficial del cumplimiento de la norma de fabricación. En el caso de no contar con el certificado, éste se debe integrar a la solicitud de inicio de actividades. En caso de utilizarse tanques no nuevos se debe presentar, certificado de fabricación o autorización de uso y funcionamiento expedida por la autoridad, o acta de inspección, donde se consignen las características constructivas del recipiente.
- b) Especificar tipos de tuberías, válvulas, instrumentos, mangueras, conexiones y accesorios.
- c) Especificar las características de las básculas.
- d) Especificar el sistema de vaciado de recipientes portátiles.
- e) Descripción, características y capacidad de bombas y carburación.
- f) Descripción de tomas de recepción, suministro y carburación.
- g) Descripción del múltiple de llenado de recipientes portátiles, en su caso.
- h) Indicar la presión para la que se diseña el sistema de tuberías.

Eléctrico

Memoria de cálculo de la instalación eléctrica, con base a la NOM-001-SEMP-1994, o la vigente a la fecha de proyecto.

- a) Generalidades, áreas peligrosas, canalizaciones y accesorios de unión, conductores e iluminación.

Contra incendio

- a) Cálculo hidráulico del sistema contra incendio.
- b) Descripción detallada del sistema contra incendio, indicando las características de los equipos y materiales empleados.
- c) Indicar la capacidad de la cisterna o tanque de agua.

II.1.3 Especificaciones técnicas.

II.1.3.1 Especificaciones del proyecto civil

Requisitos del predio:

El predio donde se pretenda construir una planta, debe contar como mínimo con un acceso consolidado que permita el tránsito seguro de vehículos. No debe haber líneas de alta tensión que crucen el predio ya sean aéreas o por ductos bajo tierra, ni tuberías de conducción de hidrocarburos ajenas a la planta. Los predios colindantes y sus construcciones deben estar libres de riesgos probables para la seguridad de la planta.

Si el predio se encuentra en zonas susceptibles de deslizamientos, partes bajas de lomeríos, terrenos con desniveles o terrenos bajos, se deben tomar las medidas necesarias para proteger las instalaciones de la planta.

Los predios ubicados al margen de una carretera deben contar con carriles de aceleración y desaceleración, autorizados por las autoridades competentes o reglamentos aplicables.

Las distancias mínimas de las tangentes de los tanques de almacenamiento se muestran en el cuadro II.1

Cuadro II.1

ZONA	DISTANCIA
Almacén de combustibles excepto otra planta de almacenamiento de gas L.P.	100.00 m
Almacén de explosivos.	100.00 m
Casa habitación.	100.00 m
Escuela.	100.00 m
Hospital.	100.00 m
Iglesia.	100.00 m
Sala de espectáculos.	100.00 m

Urbanización

El terreno de la planta debe tener las pendientes y los sistemas adecuados para el desalojo de aguas pluviales.

Las zonas de circulación y estacionamiento deben tener como mínimo una terminación superficial consolidada y amplitud suficiente para el fácil y seguro movimiento de vehículos y personas.

Delimitación del predio

El perímetro de la planta debe estar delimitado en su totalidad por bardas ciegas de mampostería con altura mínima de 3 m sobre NPT.

En zonas no urbanas, si la planta se encuentra cerca de carretera federal o estatal a distancia menor de 100 m, contados a partir de la tangente del tanque de almacenamiento más cercano al centro de carretera, el costado que ve a ésta debe ser delimitado por barda de mampostería, con una altura mínima de 3 m, los demás costados pueden ser delimitados con malla ciclónica con una altura mínima de 2 m.

En plantas con distancia mayor de 100 m de la tangente del tanque de almacenamiento más cercano al centro de carretera, el lindero que ve a ésta puede ser delimitado por malla ciclónica con una altura mínima de 2 m.

Accesos

La planta debe contar con puertas metálicas, con un claro mínimo de 6 m para permitir la fácil entrada y salida de vehículos. Las puertas para personas pueden ser parte integral de la puerta para vehículos o independientes.

Las puertas de las plantas con distancia mayor de 100 m de la tangente del tanque de almacenamiento más cercano al centro de una carretera, pueden ser de malla ciclónica.

La planta debe contar por lo menos con una salida de emergencia, con claro mínimo de 6 m para vehículos y personas.

Edificaciones

Deben ser de material incombustible, en su exterior.

Bases de sustentación de tanques de almacenamiento

Deben diseñarse con base en un estudio de mecánica de suelos y soportar los recipientes llenos con agua.

Zonas de protección

Los tanques de almacenamiento, bomba, compresores y las tomas de recepción, suministro y carburación deben quedar protegidas por medios adecuados como postes de concreto armado con altura mínima de 0.60 m y sección transversal de 0.20 m x 0.20 m, con un claro máximo entre elementos de 1 m, o muretes de concreto armado de 0.20 m de espesor y altura mínima de 0.60 m que permitan el desalojo de agua.

Cuando los tanques de almacenamiento, bombas, compresores o tomas se localicen sobre plataforma de concreto con una altura no menor de 0.60 m sobre NPT, no requieren la protección indicada en el párrafo anterior.

La protección debe permitir amplia ventilación natural y fácil acceso a los elementos y controles.

El piso debe tener terminación de concreto y contar con un desnivel que permita el desalojo de aguas pluviales.

Trincheras para tuberías

En caso de contar con trincheras, éstas y su cubierta deben ser capaces de resistir el tránsito sobre ellas, ya sea vehicular o peatonal. Las cubiertas deben ser enrejadas y contar con medios para el desdoblaje de aguas pluviales, los cuales, si tienen como destino final el drenaje público, deben descargar a un cárcamo como base intermedio.

Muelle de llenado para recipientes portátiles

Debe contar con amplia ventilación.

El techo debe tener una altura mínima de 2.70 m sobre NPT de la plataforma, en los lados donde se lleve a cabo la carga o descarga de recipientes portátiles.

Sello

La colocación del sello en las válvulas de los recipientes portátiles es obligatoria. Debe contener la razón social y/o logotipo de la empresa. Se debe asegurar la inviolabilidad de los sellos hasta la conexión de los recipientes portátiles en las instalaciones de aprovechamiento de gas L.P.

Plataforma

Debe ser una plataforma rellena, con piso revestido de concreto para permitir un manejo seguro de recipientes portátiles. Sus bordes por donde se carguen y descarguen recipientes deben estar protegidos contra chispas por impacto, ocasionados por los vehículos repartidores. Se aceptan protectores de materiales como: productos sintéticos ahulados y/o madera.

Muros y mamparas

En lugares donde predominen vientos en dirección a las áreas de operación que provoquen riesgos de trabajo, se pueden construir muros, bardas, cubiertas o mamparas que los eviten, sin detrimento de una ventilación adecuada.

Muelles cerrados

Cuando se considere conveniente, por condiciones climatológicas son aceptables muelles cerrados.

Estos deben contar cuando menos con dos accesos que permitan el paso de personal, así como con ventilación forzada que obligue a dos cambios del volumen de aire por hora, y detector fijo de gases combustibles por lo menos en dos niveles, con activación automática de alarma y suspensión de operaciones si la mezcla detectada es superior al 60% del límite inferior de inflamabilidad del gas.

Uno de los detectores debe estar a 1 m dentro del punto de entrada al ducto extractor del aire.

Servicios

Es opcional la construcción de un cuarto de servicio en el interior de la planta para el personal de vigilancia.

Si se instalan estufas, calentadores de agua o parrillas para uso del personal, la localización de éstas debe ser invariablemente dentro de las construcciones, a una distancia de 25 m o más de las zonas de almacenamiento o trasiego.

Área de venta al público

Si se contempla venta directa al público, debe diseñarse en forma tal que evite el paso de éste a las zonas de almacenamiento y trasiego. Debe contar con suficiente amplitud y ventilación natural y ser independiente del muelle de llenado.

Si se tienen recipientes portátiles llenos para su intercambio, éstos deben estar colocados en una zona delimitada con una superficie máxima de 10 m². No se permite efectuar trasiego en esta área.

Estacionamientos

El estacionamiento de vehículos dentro de la planta debe ser tal que se permita la salida de cualquiera de ellos sin necesidad de mover otros, contándose con áreas libres de fácil circulación. No deben obstruir los accesos a las zonas de almacenamiento, trasiego, equipo contra incendio, interruptor general eléctrico, entrada o salida de la planta y salidas de emergencia.

Es opcional cubrir los lugares destinados a estacionamientos con techos protectores; de existir éstos no deben obstruir el funcionamiento de hidrantes y/o monitores.

En caso de existir estacionamiento para el público, éste debe ubicarse en el exterior de la planta.

Talleres

Es optativo contar con talleres para necesidades propias de la planta.

En caso de contar con un taller para reparación de vehículos, debe ser para uso exclusivo de los mismos bajo la responsabilidad de la empresa. Se prohíbe construir fosas y, de ser necesario, se deben emplear rampas.

Espuelas de ferrocarril y torres de descarga

Las espuelas deben cumplir con las especificaciones de Ferrocarriles Nacionales de México. Las torres de descarga y los carrotanques que se descarguen se deben localizar dentro del lindero de la planta.

Distancias mínimas entre elementos:

De las tangentes de tanques de almacenamiento a:

Bardas límite del predio de la planta	15.00 m
Espuela de ferrocarril, en el más próximo.	15.00 m
Llenaderas de recipientes portátiles	6.50 m
Muelle de llenado	6.00 m
Área de venta al público.	15.00 m
Carreteras o aceras	15.00 m

Otro tanque de almacenamiento en el interior de la planta.	1.50 m o 1/4 de la suma de los diámetros de ambos tanques, lo que resulte mayor.
Piso terminado.	1.50 m
Planta generadora de energía eléctrica.	Debe cumplir con lo señalado en la NOM-001-SEMP-1994, o la vigente a la fecha del proyecto.
Talleres.	25.00 m
Tomas de carburación de autoabasto.	5.00 m
Tomas de recepción de camotancques de ferrocarril.	2.00 m
Tomas de recepción y suministro.	5.00 m
Vegetación de ornato.	5.00 m
Zona de protección a tanques de almacenamiento.	2.00 m

De llenaderas de recipientes a:

Área de venta al público.	10.00 m
Lindero propio de la planta.	15.00 m
Oficinas o bodegas propias de la planta.	15.00 m
Tomas de recepción, suministro y carburación.	6.00 m

De tomas de recepción, suministro y carburación a:

Lindero de la planta.	8.00 m
Área de venta al público.	15.00 m
Oficinas, cuano de servicio para vigilancia y bodegas.	15.00 m
Talleres.	25.00 m

De bombas y compresores a:

Límite de sus zonas de protección.	2.00 m
------------------------------------	--------

Pinturas en topes, postes y protecciones

Los topes, postes y protecciones se deben pintar con franjas diagonales alternados de amarillo y negro.

II.1.3.2 Especificaciones de proyecto mecánico

Accesorios y equipo

El equipo y accesorios que se utilicen para el almacenamiento y el manejo de gas L.P. deben cumplir la presión de diseño y cumplir con las normas oficiales mexicanas correspondientes. De no existir norma se estará a lo dispuesto en la Ley Federal sobre Metodología y Normalización.

Los tanques, tuberías y todas las estructuras metálicas superficiales, deben protegerse contra la corrosión, de acuerdo al medio ambiente donde se ubique la planta.

Tanques de almacenamiento

Colocación

Los tanques de almacenamiento deben ser colocados sobre bases de sustentación en la parte de la placa de refuerzo o soporte. La colocación del tanque sobre las bases debe permitir sus movimientos de expansión y contracción.

Entre la placa de refuerzo y la base debe colocarse material impermeabilizante para minimizar los efectos de corrosión por humedad.

Los que no cuenten con dicho refuerzo se les debe adaptar una silleta o placa de apoyo.

Escaleras y pasarelas

Para efectuar la lectura de los instrumentos de indicación local, en los tanques de almacenamiento debe existir escalerilla fija.

Se debe contar con escalera terminada en pasarela metálica, individual o colectiva, instalada permanentemente, para el acceso a la parte superior de los tanques y permitir el mantenimiento de las válvulas de seguridad.

Nivel de domos

Cuando los tanques se encuentren interconectados en su fase líquida deben quedar nivelados en sus domos o en sus puntos de máximo llenado, con una tolerancia del 2 % del diámetro exterior del recipiente menor.

Salidas de líquido

Las salidas de líquido de los tanques de almacenamiento a la intemperie deben ser en su parte inferior.

Accesorios

El tanque de almacenamiento debe contar con dispositivos de seguridad y medición, con indicación local o remota, que permitan:

- a) Conocer que la fase líquida del gas ha alcanzado el máximo nivel permisible

- b) Limitar la presión interna del tanque a las condiciones de seguridad.
- c) Medir el nivel de la fase líquida del gas contenido.
- d) Medir la presión interior en el espacio de vapor.
- e) Medir la temperatura de la fase líquida.

Manómetros

Deben ser de un intervalo mínimo de lectura de 0 a 2.048 Mpa (0 a 21 kgf/cm²)

Termómetros

Deben tener un intervalo mínimo de lectura de 253 K a 323 K (-20°C a 50°C).

Válvulas

Las válvulas de exceso de flujo, no retroceso y máximo llenado, deben cumplir lo establecido en la NOM-021/2-SCFI-1993, o la que corresponda a su fecha de fabricación.

Válvulas de relevo de presión

Las válvulas instaladas en cada tanque de almacenamiento deben tener su punto de apertura calibrado a 1.72 Mpa (17.56 kgf/cm²) y proveer como mínimo, la capacidad de desfogue requerida por la NOM-021/1-SCFI-1993 o la que la sustituya.

Para recipientes cuya superficie exceda la máxima mostrada en la Norma citada en el párrafo anterior, se aplicará lo siguiente:

La capacidad de relevo requerida debe ser la que resulte de aplicar la fórmula:

$$Q = 10.6582 \times S^{0.82}$$

en donde:

- Q = Capacidad de desfogue requerida por minuto en m³ estándar de aire
- S = Superficie total del recipiente m²
- a) Superficie de recipientes
- a1) Recipientes con cabezas semiesféricas:

$$S = L \times D \times 3.1416$$

- a2) Recipientes con otro tipo de cabezas:

$$S = (L + 0.3D) \times D \times 3.1416$$

en donde:

- L = Longitud total del recipiente, incluyendo cabezas, en metros.
- D = Diámetro exterior, en metros.
- S = Superficie total del recipiente en m²

Las válvulas deben tener tubos metálicos de desfogue con una longitud mínima de 2 m con diámetro interior igual o mayor al diámetro interior de la descarga de la válvula, contar con tapuchón protector en el extremo superior y puntos de fractura si la válvula o el cople no lo tiene. Si la válvula lo permite, el tubo se debe colocar roscado directamente a ella o al acoplador adecuado.

Entradas y salidas de los tanques

Las entradas y salidas para líquido y vapores de los tanques, con un diámetro mayor a 0.0064 m excepto las de relevo de presión, máximo llenado, indicador de nivel, deben protegerse con válvulas de exceso de flujo o válvulas de no retroceso, dependiendo de la función a desempeñar. Se aceptan válvulas automáticas que cumplan con una o ambas funciones.

Las válvulas de exceso de flujo o de no retroceso de los tanques, deben instalarse seguidas por una válvula de cierre.

Los medios coples para el drenaje del tanque, si se utilizan, deben estar provistos de válvula de exceso de flujo, válvula de cierre y tapón.

Identificación de tanques de almacenamiento

Deben ser de color aluminio o blanco. Se debe pintar en cada uno de los casquetes un círculo rojo de aproximadamente la tercera parte del diámetro del recipiente. Se debe marcar en caracteres de colores distintivos no menores de 0.15 m el contenido, capacidad de agua y número de identificación. Es opcional el marcar los tanques con la razón social.

Bombas y compresores

Deben ser para uso de gas L.P., e instalarse sobre bases fijas.

La descarga de la válvula de purga de líquidos del compresor debe estar a una altura mínima de 1.50 m sobre el NPT, de manera que no afecte al operador. De contarse con cobertizo, la descarga debe ser al exterior.

Medidores de líquido

El uso de medidores es optativo, de existir, se deben proteger contra deterioros mecánicos y cuando estén en contacto con el gas L.P. deben ser para la presión de diseño del sistema de tuberías.

Dispositivo de tuberías

Debe ser proyectado para que permita su mantenimiento.

Tuberías

Las tuberías utilizadas deben cumplir con la NMX-B10-1990, o la que en su caso la sustituya.

Las roscadas deben ser de acero al carbono grado 80 sin costura y las conexiones para 13.81 Mpa (140 kgf/cm²) como mínimo. El sello de las uniones debe ser con materiales resistentes al gas L.P.

Las soldaduras deben ser de acero al carbono 40 sin costura con bridas clase 150 como mínimo. Los empaques utilizados en uniones bridadas deben ser de materiales resistentes al gas L.P., construidos de metal o de cualquier material con temperatura de fusión mínima de 1 088 K (815° C).

Las tuberías pueden instalarse aéreas, en trinchera y subterráneas. Deben ser protegidas contra daños mecánicos.

Tubería roscada

La profundidad, longitud y demás características de las roscas deben ser las adecuadas (ver apéndice a). El sello de las uniones roscadas debe ser con materiales resistentes al gas L.P.

Tubería en trinchera

La tubería debe instalarse en soportes que permita un claro mínimo de 0.10 m en cualquier dirección, excepto a otra tubería.

Tubería subterránea

Debe instalarse a un nivel mínimo de 0.60 m bajo NPT. Para tal efecto, se deben seguir las prácticas usuales de ingeniería, contar con un recubrimiento adherido al tubo y un sistema de protección catódica. El sistema de protección catódica debe contar con un punto de medición.

Tubería aérea

Debe instalarse sobre soportes que eviten su flexión por peso propio. Debe existir un claro mínimo de 0.10 m en cualquier dirección, excepto a otra tubería.

Prueba e inspección de soldaduras

Cuando las tuberías con diámetro nominal mayor de 0.076 m sean soldadas, sus soldaduras deben ser inspeccionadas antes de la prueba de hermeticidad, rindiendo informe escrito de los resultados de acuerdo a los siguientes criterios:

Se inspeccionará e interpretará el 5 % de las soldaduras efectuadas por cada soldador (ver apéndice b y c).

Prueba de hermeticidad

Antes del inicio de operación de la planta, se debe efectuar en presencia de la Unidad de Verificación la prueba de hermeticidad por un periodo de 60 min a una y media veces su presión de diseño.

Colores distintivos de tuberías

Las tuberías se deben pintar:

Agua contra incendio.	Rojo.
Aire o gas inerte.	Azul.
Gas en fase vapor.	Amarillo.
Gas en fase líquida.	Blanco.
Gas en fase líquida en retorno	Blanco con banda de color verde.

Localización de las bandas

Las bandas deben ser pintadas conforme lo establezca la Normatividad Oficial Mexicana de la STPS.

Accesorios del sistema de tubería

Indicadores de flujo

Se debe contar con indicador de flujo cuando menos en la toma de recepción. Pueden ser indicadores simples de dirección de flujo o del tipo de cristal que permita la observación del gas a su paso, o combinados con no retroceso.

Retorno automático

Debe instalarse válvula automática de retorno en la tubería de descarga de la bomba.

Conectores flexibles

Los conectores flexibles no deben ser mayores de 1 m. Pueden ser contruidos de elastómeros, textiles, materiales metálicos o combinaciones de ellos, resistentes al uso del gas L.P. y para las presiones de trabajo requeridas.

Manómetros

Los utilizados en el sistema de tuberías deben ser con un intervalo mínimo de lectura de 0 a 2.048 Mpa (0 a 21 kg/cm²).

Filtros

Deben seleccionarse para evitar que partículas sólidas lleguen a obstruir las líneas o dañar bombas

El elemento filtrante debe ser accesible para su mantenimiento y limpieza.

Válvulas

Puede utilizarse cualquier tipo de válvula para cierre. Deben ser para agua, aceite o gas para una presión de trabajo de 2.73 Mpa (28 kg/cm²) como mínimo

Válvulas de relevo hidrostático

En los tramos de tubería, tubería y manguera en que pueda quedar atrapado gas líquido entre dos válvulas de cierre, exceptuando los tramos de manguera para llenado de recipientes portátiles, se debe instalar entre ellas una válvula de relevo hidrostático. La descarga de estas válvulas debe dirigirse hacia un lugar seguro.

Deben abrir como mínimo a 110% y como máximo a 125% de la presión de trabajo del sistema. En plantas diseñadas para una presión 2.40 Mpa (24.61 kgf/cm²) deben ser para una presión mínima de apertura de 2.61 Mpa (26.75 kgf/cm²) y no mayor de 3.50 Mpa (35.92 KGf/cm²).

Válvulas de exceso de flujo y válvulas de no retroceso

Deben cumplir con lo establecido en las NMX-X-13-1965 o aquella que la sustituya y ser las indicadas para su uso en tubería.

Mangueras y sus conexiones

Deben cumplir con lo establecido en las NMX-X-29-1985 y NMX-X-4-1967 o aquellas que las sustituyan.

Múltiple de llenado

El múltiple debe estar soportado y permitir su reparación. Debe contar con manómetro y la tubería de suministro al múltiple debe tener válvula de cierre.

Llenaderas

Cada llenadera debe contar con una válvula que permita efectuar el cambio de manguera y estar prevista con una válvula de cierre rápido. La punta de llenado no debe llegar al piso.

Cada llenadera debe contar con un dispositivo automático que accione la válvula de cierre, al llegar al peso predeterminado.

Básculas

Básculas de llenado

Las básculas utilizadas para el llenado de recipientes deben ser de capacidad mínima de 120 kg.

Báscula de repeso

Debe existir una báscula de repeso por cada 14 llenaderas o fracción. Debe ser de indicación automática, con capacidad no menor de 100 Kg y una resolución de 100 g o menor.

Vaciado de gas de los recipientes portátiles

Debe existir un sistema que permita la extracción de gas de los recipientes.

Tomas de recepción, suministro y carburación

Cada toma debe contar con válvula de cierre y con válvula automática de exceso de flujo o de no retroceso.

Si es de exceso de flujo debe contar con válvula de paro de emergencia de actuación remota, pudiendo ser de tipo hidráulico, neumático, eléctrico o mecánico.

La ubicación de las tomas debe ser tal que al abastecer o descargar un vehículo no obstaculice a circulación de otros vehículos.

Tomas de carburación

Deben ser independientes de las de recepción y/o suministro, pero pueden quedar colocadas en el mismo soporte. La válvula de la toma debe ser de cierre rápido.

La manguera debe tener un diámetro nominal máximo de 0.025 m y contar con válvula de cierre rápido con seguro, en su extremo libre.

Las tomas de carburación deben abastecer exclusivamente a vehículos de la empresa.

Cuando la toma de carburación cuente con medidor volumétrico individual, puede omitirse la válvula de paro de emergencia de actuación remota y la válvula de exceso de flujo.

Tomas para carrotanques

Deben ubicarse a un lado de la espuela, a la altura aproximada del domo del carrotanque y estar provista de escalera fija que permita el acceso.

Mangueras

La conexión de manguera para toma y la posición del vehículo que se cargue o descargue, debe ser proyectada para que la manguera esté libre de dobleces bruscos. Debe preverse que durante el tiempo en que las mangueras no estén en servicio, sus acopladores queden protegidos.

La manguera que permanentemente esté conectada a la toma, debe contar en su extremo libre con válvula de acción manual, que no debe ser de cierre rápido, con excepción de las de carburación.

Soportes para tomas

El soporte de las tomas debe ser tal que las tuberías estén sujetas en soportes anclados y contar con un punto de fractura entre la manguera y la instalación fija, con lo cual las válvulas de exceso de flujo o de no retroceso y la de cierre permanezcan en su sitio y en posibilidad de funcionar.

Las tuberías deben fijarse al soporte para que sea éste el que se oponga y resista el esfuerzo previsible causado por el arranque de un vehículo conectado a la manguera de manera que la tija se manifieste en el punto de fractura.

Punto de fractura

Debe obligar la descarga de gas hacia arriba hasta donde sea previsible.

Si no es de origen de fábrica, su diseño debe ser tal que en ningún lugar la tubería tenga un grueso de pared menor del 80% de la pared nominal de la tubería de ese diámetro en cédula 40 con tolerancia de $\pm 5\%$ (0.4 Diámetro exterior - Diámetro interior).

Opcionalmente un tramo roscado de tubería cédula 80 con longitud mínima de 0.30 m, si éste se encuentra a 90 grados de la dirección en que puede ser jalado, hace las veces de punto de fractura.

II.1.3.3 Especificaciones de proyecto eléctrico

El sistema eléctrico debe cumplir con lo establecido en la NOM-001-SEMP-1994 o aquella que la sustituya.

Áreas peligrosas

Las estaciones de servicio son establecimientos en los que se almacenan y manejan líquidos volátiles e inflamables, por lo que el equipo y los materiales eléctricos se seleccionarán en función del peligro.

De acuerdo a las normas señaladas, las estaciones de servicio de gas L.P. han sido clasificadas para efectos de determinación de grado de riesgo de explosividad, dentro del grupo D clase I, divisiones 1 y 2.

La clasificación correspondiente al grupo D, clase I, división 1, incluye áreas donde los líquidos volátiles inflamables o gases licuados inflamables son transportados de un recipiente a otro. Sus características son las siguientes:

- Áreas en las cuales la concentración de gases o vapores existe de manera continua, intermitente o periódicamente en el ambiente, bajo condiciones normales de operación.
- Zonas en las que la concentración de algunos gases o vapores pueden existir frecuentemente por reparaciones de mantenimiento o por fugas de combustibles.
- Áreas en las cuales por falla del equipo de operación, los gases o vapores inflamables pudieran fugarse hasta alcanzar concentraciones peligrosas y simultáneamente ocurrir fallas del equipo eléctrico.

Las áreas clasificadas dentro del grupo D, clase I, división 2, incluyen sitios donde se usan líquidos volátiles, gases o vapores inflamables que llegarían a ser peligrosos sólo en caso de accidente u operación anormal del equipo. Estas áreas tienen las características siguientes:

- ❖ Áreas en las cuales se manejan o usan líquidos volátiles o gases inflamables que normalmente se encuentran dentro de recipientes o sistemas cerrados, de los que pueden escaparse sólo en caso de ruptura accidental u operación anormal del equipo.

Materiales e Instalación

Para la selección del equipo eléctrico se considerará la clasificación de áreas peligrosas de acuerdo a lo expuesto anteriormente y se cumplirá con el requisito de instalación a prueba de explosión, de acuerdo a lo que se indica a continuación:

Canalizaciones y accesorios de unión

Independiente de la clasificación del lugar donde se encuentre la instalación eléctrica, el cableado será alojado en su totalidad dentro de ductos eléctricos.

Las instalaciones que queden ubicadas dentro de las áreas clasificadas dentro de las divisiones 1 y 2, se hará con tubo metálico rígido de pared gruesa roscado, tipo 2, calidad A, de acuerdo a la Norma NMX-B-208 o con cualquier otro material que cumpla con el requisito de ser a prueba de explosión.

La sección transversal del tubo será circular con un diámetro nominal mínimo de 19 mm (3/4").

La instalación de canalizaciones enterradas quedará debidamente protegida con un recubrimiento de concreto de 5 cm de espesor como mínimo.

Los accesorios de unión con rosca que se usen con el tubo quedarán bien ajustados y sellados con un compuesto especial, con objeto de asegurar una continuidad efectiva en todo el sistema de ductos y evitar la entrada de materias extrañas al mismo.

Por ningún motivo podrán instalarse canalizaciones no metálicas dentro de las áreas peligrosas, por lo que únicamente se instalarán canalizaciones metálicas. Fuera de estas áreas, donde lo permitan los reglamentos locales, podrán instalarse registros donde se efectúe la transición a canalizaciones no metálicas, previa instalación de un sello eléctrico tipo "EYS" o similar que mantenga la hermeticidad dentro de las áreas peligrosas.

Conductores

Cuando se instalen conductores dentro de áreas clasificadas en las divisiones 1 y 2, se seguirán los lineamientos siguientes:

Cuidado del cable: Ningún cable debe ser introducido a los conductos hasta que todos aquellos trabajos o maniobras, cuya naturaleza pueda ser de riesgo, haya sido completados.

Rotulado e identificación: Todos los circuitos deberán ser rotulados en los registros y tableros a donde se conecten, así como los conductores en los tableros, fusibles, alumbrado, instrumentación, motores, entre otros. La identificación se realizará con etiquetas y/o cinturoncillos de vinil o similares.

Los conductores no estarán expuestos a líquidos, gases o vapores inflamables que tengan efectos dañinos, ni a temperaturas excesivas.

Los conductores de un circuito intrínsecamente seguro no se instalarán en el mismo ducto, caja de conexiones o de salida y otros accesorios, con conductores de otro circuito, a menos que pueda instalarse una barrera adecuada que separe los conductores de los respectivos circuitos.

En tanto sea posible, será preferible y recomendable que los hilos conductores sean de una sola pieza, desde el inicio de la conexión en el cuadro de control eléctrico hasta llegar al equipo al que están suministrando energía.

Tamaño y tipo de cable: El alumbrado deberá ser de cobre de 600 voltios, clase THWN aislados (cubierta de plástico).

No se permiten conductores menores al No. 12 AWG o menores a 600 voltios. Los de control serán del No. 14 AWG y estarán identificados correctamente por el fabricante.

El espacio libre mínimo que deberá existir en el interior de las tuberías después de haberse terminado de cablear dichas tuberías, debe cumplir con las normas en vigor.

Cajas de conexiones, de paso y uniones: Los accesorios ubicados dentro de las áreas clasificadas en las divisiones 1 y 2, serán en su totalidad a prueba de explosión y tendrán rosca para su conexión con el tubo, por lo menos con cinco vueltas completas de rosca, no permitiéndose el uso de roscas corridas y se aplicará un compuesto sellador especial.

Estos accesorios de conexión estarán completos y no presentarán daños en las entradas ni agrietamientos en el cuerpo de los mismos y deberán estar sellados de acuerdo a las instrucciones del fabricante.

Las cajas de conexiones tendrán el espacio suficiente para permitir la introducción de los conductores en los ductos sin ninguna dificultad.

Registros, sellos e interruptores

Registros: Los registros de los ductos subterráneos no quedarán localizados dentro de las áreas peligrosas clasificadas en las divisiones 1 y 2. Estos registros deben ser lo suficientemente amplios y accesibles para trabajos de mantenimiento.

Cuando los registros queden expuestos en áreas peligrosas, la compañía especializada será responsable de su diseño.

Ambiente húmedo o de condensación: En lugares donde exista humedad excesiva o condensación, se deberá prever un sistema de drenado y respiraderas en los registros y/o los puntos bajos del sistema.

Sellos eléctricos a prueba de explosión: En la acometida de cualquier equipo eléctrico que se localice en áreas peligrosas, se colocarán sellos eléctricos tipo "EYS" o similares en los ductos eléctricos para impedir el paso de gases, vapores o flamas de un área a otra de la instalación eléctrica.

Se aplicará el sello eléctrico un sellador adecuado para impedir la filtración de fluidos y humedad al aislamiento exterior de los conductores eléctricos.

Illuminación

La iluminación de cada una de las áreas exteriores que componen la estación de servicio de gas L.P. se efectuará a base de luminarias de vapor de mercurio, de haluros metálicos o lámparas fluorescentes.

Queda prohibido el uso de lámparas de vapor de sodio y cualquier otro tipo de lámparas que no proporcionen luz blanca.

La iluminación interior en los edificios se efectuará siguiendo los criterios expuestos en las normas técnicas para instalaciones eléctricas de la SECOFI.

Las luminarias en exteriores serán del tipo "box" o gabinete con difusor, con lámparas de luz blanca que proporcionen en un nivel de iluminación no menor a los 200 luxes. Se instalarán a una altura de 4.50 m del nivel de piso terminado cuando estén montadas sobre postes metálicos y la altura no podrá ser menor a 2.50 m cuando se encuentren adosadas directamente a los muros.

Ubicación de luminarias: Estas luminarias estarán ubicadas en los accesos y salidas, en la zona de tanques de almacenamiento, en las áreas de despacho y en las circulaciones interiores de la estación de servicio de gas L.P. y estarán distribuidas de tal manera que proporcionen una iluminación uniforme a las áreas citadas, de acuerdo a lo que indiquen los reglamentos locales.

Instalación: Los equipos de alumbrado serán instalados adecuadamente y tendrán fácil acceso para permitir su mantenimiento.

La selección de las luminarias se hará en función de las necesidades de iluminación y de las restricciones impuestas por la clasificación de áreas peligrosas.

Alumbrado de Emergencia: La estación de servicio de gas L.P. tendrá opcionalmente un sistema de alumbrado de emergencia para los casos en que falle el suministro de energía eléctrica, o cuando por situaciones de riesgo se tenga que cortar el mismo.

Este sistema de alumbrado proporcionará una adecuada iluminación en pasillos, escaleras, accesos y salidas de los edificios, así como en las rutas de evacuación de la estación de servicio de gas L.P., sirviendo además para alumbrar la señalización de ésta últimas.

Pruebas

Toda la instalación eléctrica deberá estar perfectamente balanceada, libre de cortos circuitos y tierras mal colocadas. Todos los circuitos deberán estar totalmente verificados antes de ser energizados serán evaluados antes de ser conectados a sus respectivas cargas.

El sistema de control deberá ser inspeccionado y puesto en condiciones de operación, realizando los ajustes que se consideren necesarios. Dicho sistema será certificado por la unidad de verificación de instalación eléctrica.

Manual de Operación. Después de concluir la obra, la compañía especializada deberá proporcionar al titular de la concesión de trámite todos los manuales de instalación, de operación y los documentos relativos a los equipos instalados.

Aunado a lo anterior, hará una presentación del funcionamiento y mantenimiento de los aparatos instalados.

Relación de Planos.

- Clasificación de áreas peligrosas.
- Extensión de áreas peligrosas y sellos.
- Sistema de tierras.
- Acometida.
- Arreglo de tableros eléctricos.

II.1.3.4 Especificaciones de proyecto contra incendio

La planta debe contar con extintores, sistema de enfriamiento sobre los tanques y sistema de hidrantes y/o monitores. Los sistemas de agua contra incendio deben ser calculados hidráulicamente.

Sistema de protección por medio de agua

Cisterna o tanque de agua

La capacidad mínima de la cisterna o tanque de agua debe ser la que resulte de sumar 21 000 litros a la requerida de acuerdo al cálculo hidráulico para la operación durante 30 minutos del sistema de enfriamiento del tanque de mayor superficie en la planta.

Equipos de bombeo

El equipo de bombeo contra incendio debe estar compuesto por una o más bombas accionadas por motor eléctrico y una o más bombas accionadas por motor de combustión interna.

Es aceptable el uso de bombas accionadas por sistema dual que consiste de equipo integrado con un motor de combustión interna y con un motor eléctrico, accionado indistintamente por cualquiera de ellos.

Es aceptable el uso de únicamente equipo de bombeo eléctrico siempre y cuando exista un sistema de generación eléctrica para el uso exclusivo del sistema contra incendio.

El gasto y presión de bombeo mínimos de cada uno de los equipos, deben de estar de acuerdo a los requisitos del sistema de agua contra incendio que abastecen.

Es admisible el uso del mismo equipo de bombeo para abastecer simultáneamente tanto al sistema de hidrantes y monitores, como al de enfriamiento por aspersión por agua. En este caso, el caudal mínimo debe ser la suma de los requeridos independientemente por cada sistema y la presión mínima debe ser la que resulte mayor de las requeridas independientemente por cada sistema, ambos parámetros evaluados según su cálculo hidráulico.

Gasto de bombeo

El gasto mínimo abastecido por el equipo de bombeo impulsado por motor eléctrico o de combustión interna considerado independientemente, debe ser:

- a) Sistema de hidrantes o monitores: 700 litros por minuto.
- b) Sistema de enfriamiento por aspersión de agua: el requerido según el cálculo hidráulico para que se cubra con aspersión directa, partiendo de que por la boquilla hidráulicamente más desfavorable se debe tener el caudal necesario para aplicar 10 litros de agua por minuto a cada metro cuadrado de la superficie del tanque cubierta por el cono de agua que hacia él se proyecte desde dicha boquilla.

Presión de bombeo

La presión mínima de bombeo para los sistemas de agua contra incendio debe ser como sigue:

- a) Sistema de hidrantes y monitores: la necesaria para que en la descarga del elemento hidráulicamente más desfavorable, se tenga una presión manométrica de:

Hidrantes: 3 kgf/cm² - Monitores: 7 kgf/cm².

- b) Sistema de enfriamiento por aspersión de agua:

La necesaria para que en la boquilla hidráulicamente más desfavorable se alcance las condiciones de caudal ahí establecidas.

La presión mínima requerida en esta boquilla para alcanzar dicho caudal debe establecerse de acuerdo con el coeficiente de descarga de la boquilla utilizada.

Hidrantes y monitores

El sistema de hidrantes debe contar con mangueras de longitud máxima de 30 m y diámetro nominal mínimo de 0.038 m - monitores estacionarios tipo corazón o similar de una o dos cremalleras de diámetro nominal mínimo 0.063 m, con chiflón que permita surtir neblina. Este sistema debe cubrir el 100% de las áreas de almacenamiento, trasiego y estacionamiento de autotanques y vehículos de reparto de recipientes portátiles.

Sistema de enfriamiento de tanques

Excepto cuando el caudal de agua requerido para el enfriamiento del tanque de mayor superficie de la planta sea de hasta 700 litros por minuto, en todos los tanques se debe instalar en la parte superior un sistema de fijo de enfriamiento por aspersión de agua.

El caudal y la presión de bombeo mínimo requeridos para el sistema de enfriamiento por aspersión de agua, deben establecerse usando como base el tanque de la planta que presente la mayor superficie.

El agua debe rociar directamente cuando menos el 90% de la superficie de la zona de vapor cuando el tanque se encuentre con gas en fase líquida al 50% de su capacidad.

Para establecer dicha cobertura, los círculos proyectados por el agua de los aspersores sobre el tanque deben tocarse cuando menos en un punto.

El área correspondiente a la superficie mínima a cubrir con la aspersión directa debe calcularse usando la siguiente expresión:

$$S_m = \frac{3.1416 \times D \times L_t}{2} \times 0.90$$

Donde:

- S_m = Superficie mínima a cubrir con aspersión directa (m^2).
 D = Diámetro exterior del recipiente (m).
 L_t = Longitud total del tanque (incluyendo las tapas) (m).

Válvulas del sistema de aspersión

La activación de las válvulas de alimentación al sistema de aspersión se podrá efectuar por:

- a) Operación manual local.
- b) Operación manual remota.
- c) Operación automática.

En la operación automática de las válvulas se debe operar simultáneamente la bomba contra incendio.

Se debe instalar una válvula de bloqueo en cada una de las líneas de alimentación al sistema de aspersión para cada tanque.

Toma siamesa

Se debe instalar en el exterior de la planta, en un lugar de fácil acceso, una toma siamesa para inyectar directamente a la red contra incendio el agua que proporcionen los bombeos.

Sistema común contra incendio

Debe cumplir con las especificaciones contra incendio que establece esta Norma, considerando el tanque de mayor capacidad de cualquiera de las plantas.

La cisterna y el cuarto de máquinas del sistema de bombeo deben ser accesibles para cualquiera de las plantas protegidas.

Se deben instalar en cada una de las plantas, en él o los lugares estratégicos que determine el proyectista, los controles de arranque del sistema.

Sistema de protección por medio de extintores.

La protección debe efectuarse por medio de extintores de capacidad mínima nominal de 9 kg y debe ser de polvo químico seco tipo ABC a excepción de los que se requieran para los tableros de control eléctrico, los que pueden ser tipo C o de bióxido de carbono.

Tabla de unidades de riesgo

Área	Riesgo	Factor de Riesgo
Zona de almacenamiento.	Alto	0.3
Tomas de recepción, suministro y carburación.	Alto	0.3
Andén de llenado.	Alto	0.3
Bombas y compresores.	Alto	0.3
Estacionamiento.	Alto	0.3
Cuarto de máquinas de contra incendio.	Alto	0.3
Caseta de recibo y medición.	Alto	0.3
Bodegas y almacenes.	Moderado	0.2
Planta de fuerza.	Moderado	0.2
Tablero eléctrico.	Moderado	0.2
Taller mecánico.	Moderado	0.2

Las áreas no comprendidas en esta tabla deben apegarse a lo establecido en la normatividad de la Secretaría del Trabajo y Previsión Social.

Unidades de capacidad de extinción y diámetros de cobertura

Para que las superficies o elementos detallados se consideren protegidos, deben quedar comprendidos dentro de círculos trazados a partir del punto elegido por el proyectista, para la colocación del extintor y con el radio correspondiente al factor de riesgo de área y capacidad del extintor. El círculo no puede atravesar muros de ningún tipo de material.

Cuando en un área estén comprendidos círculos vecinos éstos deben por lo menos tocarse entre sí.

Unidades de extinción	Diámetro del círculo de cobertura en metros	
	Factor de riesgo	
	0.2	0.3

Capacidad Nominal en Kg	P. Q. S.		CO ₂		P. Q. S.		CO ₂	
	ABC	C	ABC	C	ABC	C		
9	6.80	5.30	6.58	5.85	5.37	4.75		
13	9.80	7.70	7.90	7.00	6.45	5.72		
23	17.30	13.50	10.49	9.30	8.57	7.55		
34	25.60	20.00	12.77	11.25	10.42	9.20		
45	33.90	26.50	14.69	13.00	11.99	10.55		
50	37.70	29.40	15.50	13.68	12.65	11.17		
68	51.30	40.00	18.05	15.96	14.75	13.03		
159	120.00	93.60	27.60	24.41	22.55	19.93		

Nota: P. Q. S. = Polvo Químico Seco (Fosfato Monoamónico)
CO₂ = Dióxido de Carbono

Colocación de extintores

En la instalación de los extintores se debe cumplir con lo siguiente:

Colocarse a una altura máxima de 1.50 m y mínima de 1.20 m, medidas del piso a la parte más alta del extintor.

Sujetarse en tal forma que se puedan descolgar fácilmente para ser usados y en caso de colocarse a la intemperie deben protegerse.

Colocarse en sitios visibles de fácil acceso, conservarse sin obstáculos y con la señalización establecida en la NOM-027-STPS-1993 o aquella que la sustituya.

Matachispas

Se debe contar con un anaquel destinado a los matachispas, para los vehículos que circulen en el interior de la planta.

Equipo de protección personal:

Se debe contar como mínimo de dos equipos para acercamiento al fuego, consistentes en casco con protector facial, botas, guantes, pantalón y chaquetón. El equipo debe estar ubicado en lugar accesible para uso del personal.

Sistema de alarma

La planta debe contar como mínimo con sistema de alarma sonora activado manualmente para alertar al personal en caso de emergencia.

Es optativo un sistema de alarma activado en forma simultánea cuando se opere el sistema contra incendio.

II.1.4 Especificaciones particulares para las plantas que reciben gas L.P. por ducto

Patín de medición

Se debe colocar aislamiento eléctrico a la salida del patín.

Capacidad de almacenamiento

La capacidad mínima de almacenamiento de la planta que reciba el gas L.P. por ducto debe ser de dos días naturales de venta promedio.

Accesorios

Los tanques de almacenamiento y áreas de trasiego deben contar con los accesorios necesarios para el monitoreo y las variables de nivel y presión, a fin de que las señales generadas en estos dispositivos sean concentradas en la Unidad de Control, ubicada en las instalaciones de PEMEX Gas y Petroquímica Básica.

Detectores de mezclas explosivas

Las áreas de almacenamiento, trasiego y estacionamiento de autotanques y vehículos de reparto de recipientes portátiles para gas L.P. deben contar con detectores de mezclas explosivas.

Distancias mínimas

De la zona de almacenamiento a llenaderas de recipientes portátiles.	6 m
De las tangentes de los tanques de almacenamiento al ducto troncal de PEMEX Gas y Petroquímica Básica.	150 m

II.1.5 Rótulos

En el recinto de la planta se deben fijar letreros visibles conforme se indica:

RÓTULO	LUGAR
ALARMA CONTRA INCENDIO	Interruptores de alarma.
PROHIBIDO ESTACIONARSE	Como mínimo en puertas para acceso de vehículos y salida de emergencia, por ambos lados y en la toma siamesa.
PELIGRO, GAS INFLAMABLE	Varios.
SE PROHIBE EL PASO A VEHICULOS O PERSONAS NO AUTORIZADOS	En los accesos a la planta.
SE PROHIBE ENCENDER FUEGO EN ESTA ZONA	Como mínimo en las zonas de almacenamiento, trasiego y estacionamientos para vehículos de la empresa.
SE PROHIBE EL PASO A ESTA ZONA A CUALQUIER PERSONA NO AUTORIZADA	Como mínimo en cada lado de las zonas de almacenamiento y trasiego, así como en el estacionamiento para vehículos de la empresa.
LETREROS QUE INDIQUEN LOS DIFERENTES PASOS DE MANIOBRAS	Muelle de llenado, tomas de recepción, suministro y carburación
TABLA QUE SEÑALE LOS CODIGOS DE COLORES DE LA TUBERIAS	Como mínimo en la entrada de la planta y zona de almacenamiento

GAS INFLAMABLE	Como mínimo en el exterior de la puerta de acceso para carrotanques.
Que deberá apegarse a los requisitos que establece la NOM-027-STPS-1993 o a la que en su caso la sustituya.	
Cuando esté conectado un carrotanque a la toma, se debe colocar un letrero visible, indicando:	En el exterior del acceso de carrotanques en el escape de la planta.
CARROTANQUE CONECTADO AL SISTEMA DE LA PLANTA, CONTENIENDO "GAS L.P." INFLAMABLE	
ENTRADA Y SALIDA DE CARROTANQUES	En el exterior del acceso de carrotanques a la planta.
SALIDA DE EMERGENCIA	En ambos lados de dichas puertas.
PROHIBIDO EFECTUAR REPARACIONES A VEHICULOS EN ESTA ZONA	Varios.
RUTA DE EVACUACION	Varios (Verde, con flechas y letras blancas).
VELOCIDAD MAXIMA 10 KPH	Como mínimo a la entrada de la planta.

II.1.6 Apéndices y anexos

Apéndice

- a) Las roscas de tubería deben ser las indicadas en la Norma ANSI-B-2.1.
- b) La inspección e interpretación de las soldaduras deben apegarse a la Norma ANSI-B-31.3.
- c) Las radiografías se deben aprobar según código ASME sección IX, vigente.
- d) En esta norma se utiliza el kilogramo fuerza sobre centímetro cuadrado debido a que esta unidad de medición es la que se emplea comúnmente en los proyectos de las plantas de almacenamiento para gas L.P.

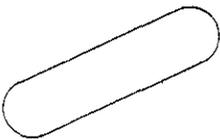
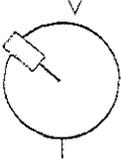
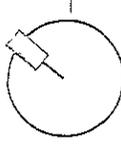
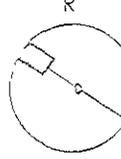
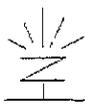
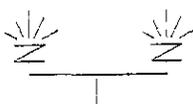
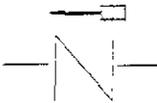
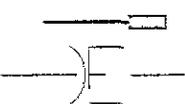
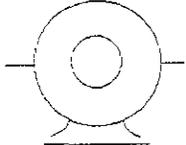
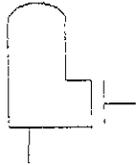
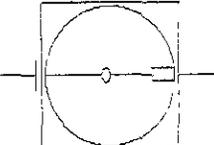
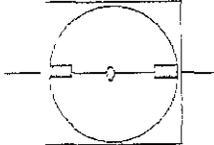
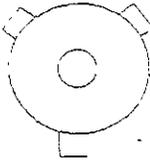
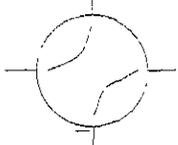
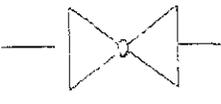
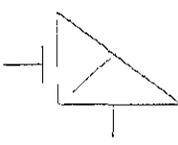
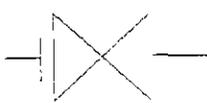
Anexos

- Anexo 1 Símbolos Mecánicos 1.
- Anexo 2 Símbolos Mecánicos 2.
- Anexo 3 Equipo Contra incendio.

SIMBOLOGÍA PARA PLANTAS DE ALMACENAMIENTO

SIMBOLOS MECANICOS

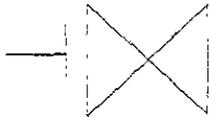
ANEXO I

			
TANQUE DE PLANTA	MANOMETRO	TERMOMETRO	V. ROTATORIO
			
VALVULA DE SEGURIDAD	ADITAMENTO DOBLE PARA VALVULA DE SEGURIDAD	ADITAMENTO MULTIPLE PARA VALVULA DE SEGURIDAD	VALVULA DE NO RETROCESO
			
VALVULA DE EXCESO DE FLUJO	VALVULA DE EXCESO DE FLUJO Y NO RETROCESO	VALVULA DE NO RETROCESO DOBLE	BOMBA PARA GAS
			
VALVULA DE RETORNO AUTOMATICO	FILTRO DE PASO	INDICADOR DE FLUJO UNIDIRECCIONAL	INDICADOR DE FLUJO BIDIRECCIONAL
			
VALVULA DE RELEVO HIDROSTATICO	COMPRESOR	VALVULA DE CUATRO VIAS	VALVULA DE GLOBO RECTA
			
VALVULA DE GLOBO EN ANGULO	VALVULA DE COMPUERTA		

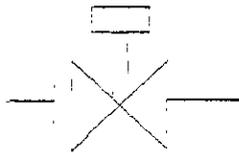
SIMBOLOGIA PARA PLANTAS DE ALMACENAMIENTO

SIMBOLOS MECANICOS

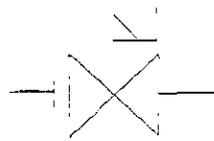
ANEXO 2



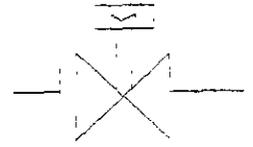
VALVULA DE CIERRE
 RAPIDO O DE BOCA



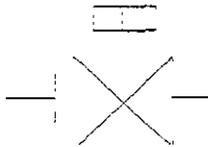
VALVULA DE CONTROL
 REMOTO HIDRAULICA



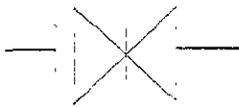
VALVULA DE CONTROL
 REMOTO NEUMATICA



VALVULA DE CONTROL
 REMOTO MECANICA



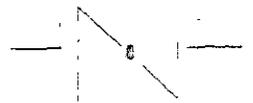
VALVULA DE CONTROL
 REMOTO ELECTRICA



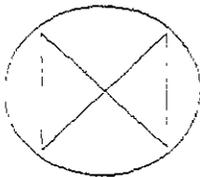
VALVULA DE AGUJA



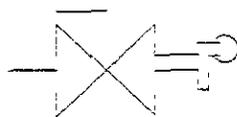
VALVULA DE TRES



VALVULA DE MARIPOSA,
 COMPUERTA O PERSIANA



CORTE AUTOMATICO
 DE LLENADO



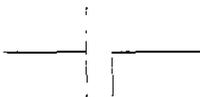
PLANTA DE LLENADO
 CON VALVULA DE
 CIERRE RAPIDO



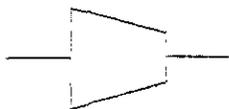
TUERCA UNION



PUNTA TAPONADA



UNION BRIDADA



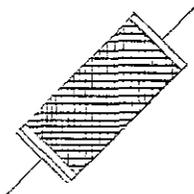
REDUCCION



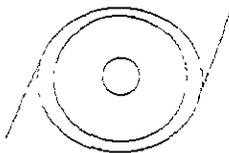
BASCULA DE BARRA



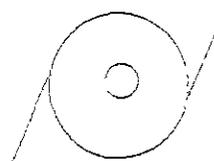
BASCULA DE CARATULA



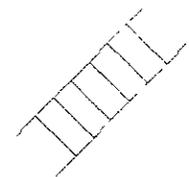
CONECTOR FLEXIBLE



MOTOR ELECTRICO A
 PRUEBA DE EXPLOSION



MOTOR ELECTRICO



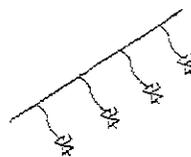
CADENA
 TRANSPORTADORA



MEDIDOR DE GAS



MANGUERA

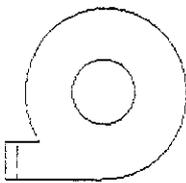
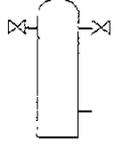
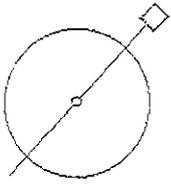
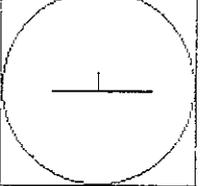
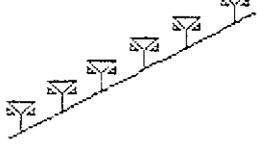
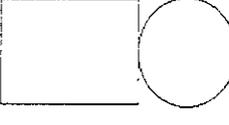
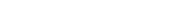
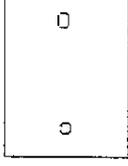
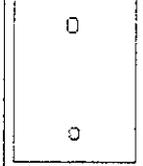
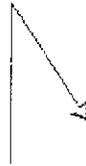


MULTIPLE DE LLENADO

SIMBOLOGIA PARA PLANTAS DE ALMACENAMIENTO

EQUIPO CONTRA INCENDIO, TUBERIAS Y ELECTRICO

ANEXO 3

 <p>BOMBA PARA AGUA</p>	 <p>EXTINTOR MANUAL</p>	 <p>EXTINTOR DE CARRETA</p>	 <p>HIDRANTE PARA UNA MANGUERA</p>
 <p>HIDRANTE PARA DOS MANGUERAS</p>	 <p>MONITOR FIJO LANZA AGUA</p>	 <p>BOQUILLA DE ASPERSION</p>	 <p>CASETA EQUIPO CONTRA INCENDIO</p>
 <p>LINEA DE ASPERSION PARA TANQUE</p>	 <p>SIRENA ELECTRICA</p>	 <p>TUBERIA SOLDADA</p>	 <p>TUBERIA BRIDIDA</p>
 <p>ESTACION DE BOTONES</p>	 <p>ESTACION DE BOTONES A.P.E</p>	 <p>SUBE</p>	 <p>BAJA</p>
 <p>MOTOR DE COMBUSTION INTERNA</p>			

Capítulo III

Bases teóricas de los modelos

III.1 Introducción

De acuerdo con el procedimiento básico de un estudio de riesgo, después de la identificación de las fallas potenciales debe efectuarse el cálculo de la cantidad de material peligroso liberado en cada falla y calcularse el impacto de cada liberación en el equipo de la planta, la gente, el ambiente y propiedades. El procedimiento que sigue a la identificación de riesgos se describe a continuación:

1. Calcular los gastos de liberación.

Las fallas pueden estar seguidas por una liberación instantánea o continua de material peligroso. La cantidad o gasto de esta liberación se calcula usando *modelos matemáticos*; la elección del modelo depende de la naturaleza del material y de las condiciones de descarga asumidas.

2. Agrupar los gastos liberados.

Con el fin de reducir la cantidad de cálculos requeridos, aquellas liberaciones que involucran gastos de liberación similares (o cantidades similares de un material), a temperaturas semejantes pueden también agruparse. La dispersión y el cálculo de las consecuencias requieren efectuarse sólo una vez por cada grupo de liberaciones agrupadas.

3. Cálculo de las consecuencias.

Las consecuencias en el sitio y fuera de él se calculan usando modelos matemáticos; existen métodos para estimar la expansión, dispersión, incendios, explosiones e impactos tóxicos.

4. Comparar los resultados.

Existen formatos diseñados para asistir al analista en el registro, ordenamiento y comparación de los resultados de una evaluación de riesgo para una planta compleja.

5. Graficación del efecto con respecto a la distancia.

En última instancia, el resultado de los cálculos de evaluación de riesgo debe ser considerado con relación a la geografía local y población. Dado que los resultados para cada caso de liberación incluyen un efecto "de distancia" los impactos del riesgo pueden estimarse mediante el dibujo del "radio de efectos" usando círculos sobre planos locales

6. Estimación de la frecuencia del evento.

El analista puede usar datos confiables para estimar la frecuencia de ocurrencia para cada caso de falla. Si existen datos de falla de la planta en estudio, deben usarse preferentemente sobre datos generales de falla. En esta etapa el analista será capaz de hacer sólo una estimación superficial de frecuencias; un análisis de riesgo completo involucraría análisis de confiabilidad. Sin embargo, las frecuencias son importantes debido a que añaden una perspectiva adicional al análisis, y son útiles cuando se trata de decidir cómo distribuir recursos limitados para medidas de remediación.

7. Interpretación de resultados.

El analista debe entonces decidir si la planta representa una amenaza inaceptable para sus empleados o para la comunidad.

8. Elección y análisis de las medidas de remediación.

Si el riesgo es inaceptable, el analista debe considerar la manera de reducirlo. Se han desarrollado muchos métodos para reducir los riesgos en complejas plantas de proceso. Los detalles de muchos de estos métodos serán específicos para la planta en estudio, de manera que en el reducido espacio de este texto no podría darse una descripción comprensiva de las opciones disponibles. El analista puede cuantificar los beneficios de una medida de remediación repitiendo los cálculos de consecuencias relevantes.

Como ya se ha mencionado, los accidentes que se presentan en una instalación industrial pueden ser: incendio, explosión y fuga o derrame de sustancias peligrosas.

Estos accidentes pueden llevar asociados los siguientes efectos físicos:

- Radiación térmica;
- Sobrepresión;
- Impulso;
- Proyección de fragmentos;
- Emisión de sustancias tóxicas;

El cálculo de consecuencias permitirá conocer el alcance de los efectos físicos derivados de un determinado accidente.

A continuación se presentarán los modelos más empleados para predecir los efectos ocasionados por fallas ocurridas en una instalación de gas L.P.

III.2 Árbol de sucesos en una instalación de gas L.P.

La liberación de un gas L.P. puede tener muchas consecuencias y debe tratarse de considerar todas ellas; en la figura III.1 muestra un árbol de sucesos (eventos) llamado así debido a su estructura ramificada que describe secuencias alternativas de eventos. En cada nodo o ramificación se pregunta al analista acerca de la liberación; la respuesta determina el patrón que debe seguirse en el análisis. Si el analista considera que ambas respuestas son posibles, entonces deben analizarse ambos patrones.

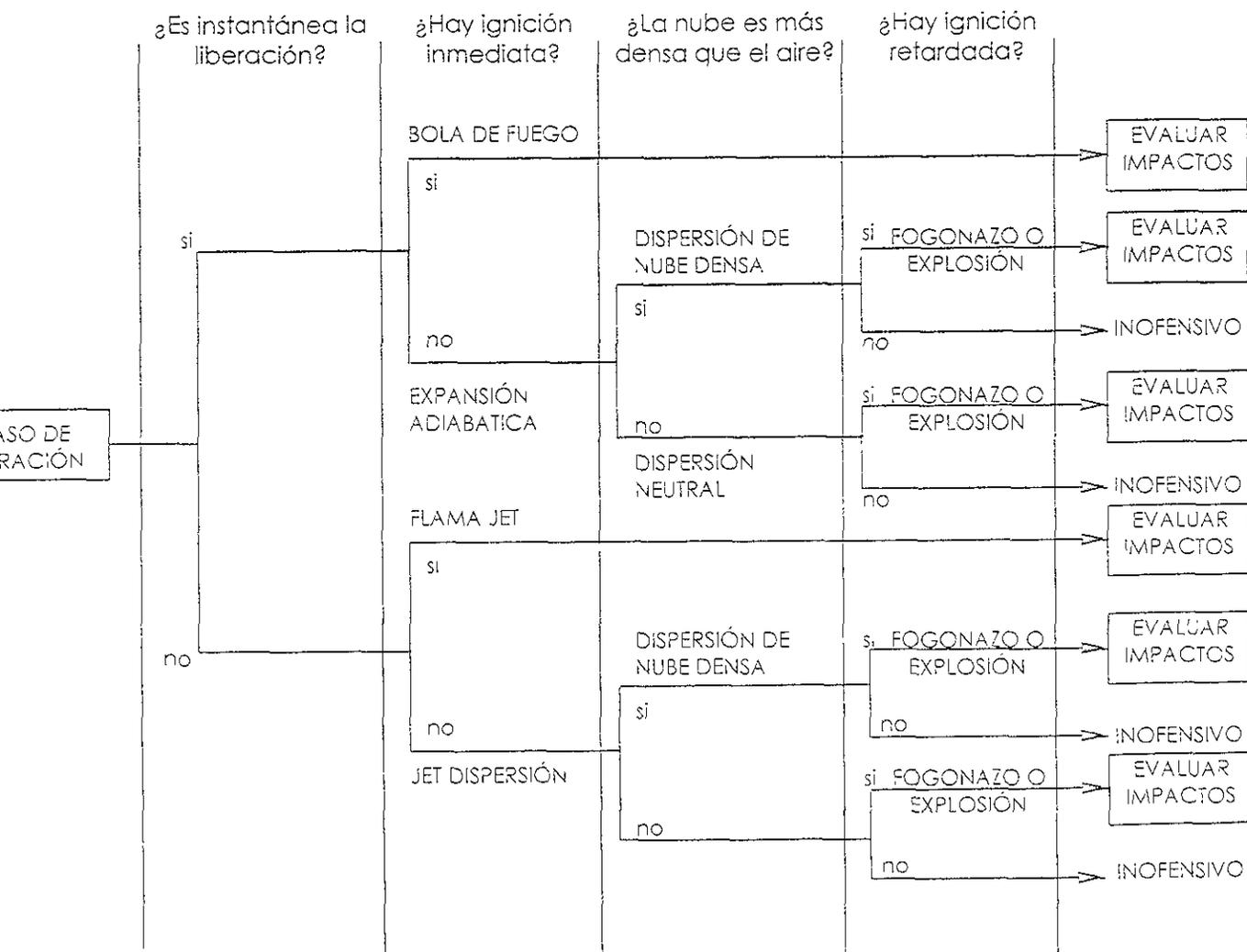


Figura III.1 Árbol de sucesos para gases inflamables.

1. Liberación instantánea

Una liberación instantánea del gas L.P. contenido en el tanque de almacenamiento podría ocurrir solamente si se produjera un incendio muy cercano al tanque de tal manera que se expusiera a temperaturas anormalmente altas, a tal grado que se elevara la presión interna lo suficiente para reventar el recipiente. Si esto sucediera, el contenido total del tanque sería liberado y entraría una ignición instantáneamente provocando una "bola de fuego".

No se han identificado causas por las cuales pudiera presentarse una liberación instantánea sin ignición inmediata, por lo que no se considera posible una "expansión adiabática".

2. Liberación no instantánea.

Una liberación no instantánea de gas L.P. puede presentarse por fugas en la bomba, válvulas, conexiones y tuberías. En este caso debe estimarse la duración de la fuga y calcularse la tasa de gas liberado.

Aún cuando muy baja, la probabilidad de ignición inmediata existe, pudiéndose presentar una "flama jet".

En caso de que no se produjera una ignición inmediata, se presentaría una dispersión jet, y como el gas L.P. es más pesado que el aire, podría presentarse una nube densa; en este caso, una ignición retardada provocaría un "fogonazo" o una explosión.

En la figura III.2 se presenta el árbol de sucesos específico o reducido en el manejo de gas L.P.

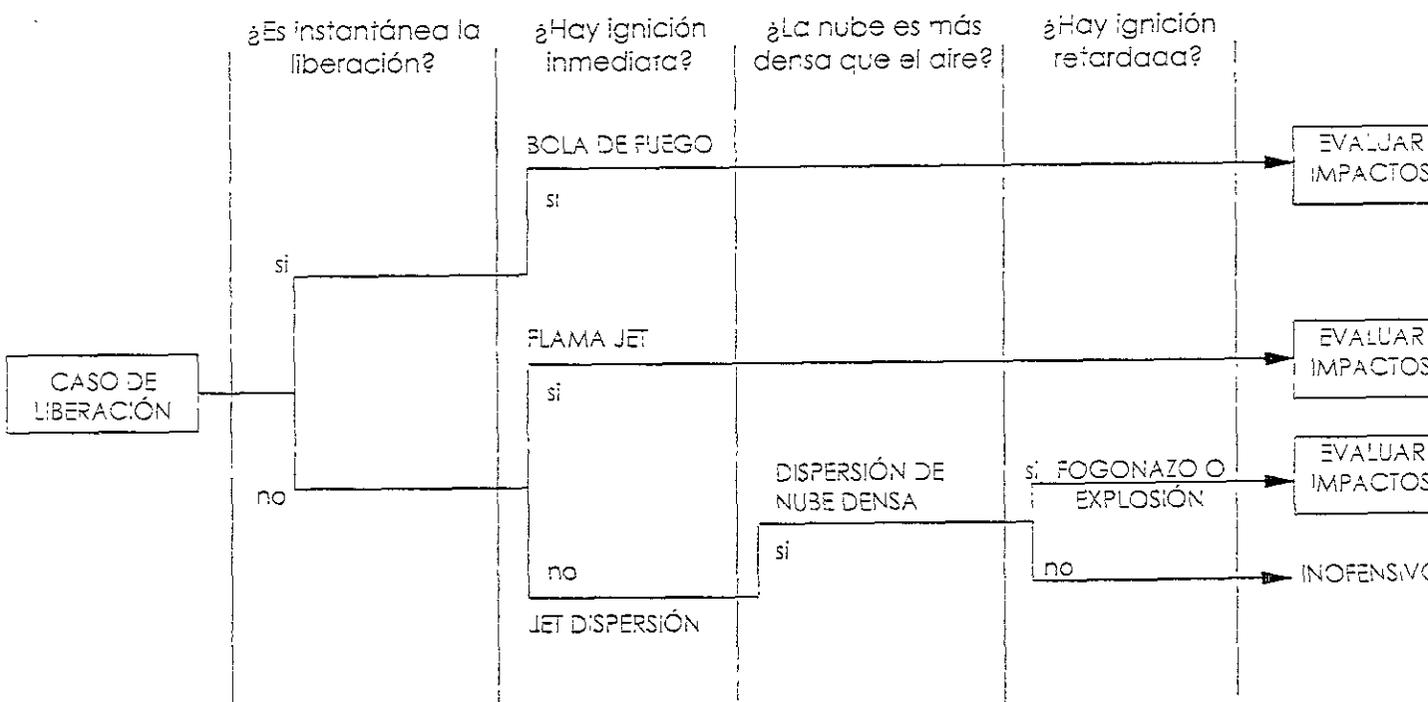


Figura III.2 Árbol de sucesos reducido para el manejo de gas L.P.

3.3 Bases teóricas de los modelos identificados

liberación instantánea.

bola de fuego.

Si la liberación del gas fuera instantánea y la ignición inmediata, se presentaría una bola de fuego. Este evento podría suceder por ruptura total del tanque como resultado de la presión que queda desarrollarse si se expusiera a temperaturas anormalmente altas. Bajo condiciones de extremo calor, la presión interna puede elevarse lo suficiente para reventar aún estos recipientes tan resistentes. Si esto sucediera, el contenido total del tanque sería liberado instantáneamente, causando la peor condición posible desde el punto de vista de peligro de incendio.

El modelo empleado en este caso es la correlación empírica derivada por Moorhouse y Pritchard en 1982. La intensidad de radiación a una distancia del centro de la bola de fuego y su duración pueden determinarse usando una ley de escala simple.

El máximo radio de la bola de fuego en metros se calcula con la siguiente expresión:

$$R_f = 2.665 M^{0.327}$$

Donde:

- R_f es el radio máximo de la bola de fuego en metros
- M es la masa flamable liberada en kilogramos.

Suponiendo el caso más desfavorable en el que el tanque este lleno a su máxima capacidad posible, se tiene:

La densidad absoluta del gas L.P. líquido es $\rho = 530.0 \text{ Kg/m}^3$ a 15° C .

Para el tanque de almacenamiento en litros (m^3) y considerando que sólo podrá llenarse al 85 % de su capacidad, se tiene:

$$M = (530 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}) (\text{m}^3) (0.85)$$

La bola de fuego tendría una duración, t_f dada por:

$$t_f = 1.089 M^{0.327}$$

Donde t_f es la duración de la bola de fuego, en segundos

La tasa de liberación de energía por combustión se da entonces por

$$Q = \frac{\eta \cdot H_c \cdot M}{T}$$

Donde Q es la liberación de energía de la combustión en J, η es la eficiencia de combustión, la cual se ha encontrado que varía con la presión de vapor saturado del material almacenado, en MN/m², como sigue:

$$\eta = 0.27 P_s^{0.32}$$

P_s Presión de vapor saturado, en MN/m² = 650 Kg/cm² = 65.86 MN/m² a 15° C

H_c Calor de combustión, en J/kg

Suponiendo que se trata de propano (mayor poder calorífico que el butano), se tiene:

$$H_c = 21,560 \text{ BTU/lb} = 21,560 \times 2.3241 = 50,107.60 \text{ kJ/kg}$$

$$H_c = 50,107,600 \text{ J/kg}$$

El flux de radiación I en el radio máximo de la bola de fuego está dado por:

$$I = \frac{8.56 \times 10^9}{4 \pi (Rf)^2} = [\text{Wm}^{-2}]$$

En el cuadro III. 1 muestra los daños causados a diferentes niveles incidentes de radiación térmica

Cuadro III. 1

FLUX INCIDENTE Kw/m ²	TIPO DE DAÑO CAUSADO	
	DAÑO AL EQUIPO	DAÑO A LA GENTE
37.5	Daño al equipo de proceso	100% de letalidad en 1 min. 1% de letalidad en 10 s.
25.0	Energía mínima para consumir madera en una exposición sin flama.	100% de la letalidad en 1 min. Lesiones significativas en 10 s.
12.5	Energía mínima para consumir madera en una exposición a flama. Se funden las tuberías plásticas.	1% de letalidad en 1 min. Quemaduras de primer grado en 10 s.
4.0		Causa dolor si la duración es mayor a 20 s, pero son improbables las ampollas.
1.6		No causan disconfort con larga exposición.

Liberación no instantánea.

Una liberación no instantánea del gas L.P. en la estación de servicio pudiera darse en el caso de fugas en la bomba, válvulas, conexiones y tubería. La descarga de este tipo de elementos que contienen gas bajo presión, pueden calcularse empleando ecuaciones estándar para flujo de gas.

El primer caso en el cálculo es determinar si el flujo es crítico o subcrítico. Asumiendo expansión diabática reversible y el comportamiento de un gas ideal, se tiene que el flujo es crítico si

$$P_a < P_1 \left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

y es subcrítico si

$$P_a > P_1 \left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Donde:

- P_a es la presión atmosférica en Nm^{-2}
- P_1 es la presión en el elemento en Nm^{-2}
- γ es el coeficiente de calor específico

A la altitud de la Ciudad de México, $P_a = 0.797 \text{ kg/cm}^2$

$$P_a = 80,760 \frac{N}{m^2}$$

$$P_1 = 189,183 \frac{N}{m^2}$$

$$\gamma = 1.133 \text{ (suponiendo que el gas L.P. es sólo propano)}$$

El segundo paso es calcular la descarga usando la siguiente fórmula, tomada de Crane (1981):

$$Q = \gamma C_d A_r P_1 \sqrt{\frac{[M \gamma] \left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}}{R T_1}}$$

Donde:

- Q es la tasa de liberación en Kg/s
- γ es coeficiente de flujo, para flujo crítico $\gamma = 1$
- C_d es el coeficiente de descarga, para el caso de la liberación de gas (fuga) se usa $C_d = 1.0$
- A_r es el área del orificio de liberación, en m^2
- P es la presión del gas en el elemento, en Nm^{-2}
- M es el peso molecular
- γ es el calor específico
- R es la constante universal de los gases, en $Jmol^{-1} K^{-1}$
- T_l es la temperatura de líquido, en $^{\circ}K$

El peso molecular del propano es 44.094.

La constante universal de los gases es 8.314 J/mol $^{\circ}K$.

$T = -28^{\circ} K = 244.9 K$.

$$A_r = \frac{\pi (d \times D^2)}{4} = [m^2]$$

Donde:

- d orificio de la fuga [m^2]
- D diámetro [m^2]

Inmediatamente después de la liberación el material descargado muestra variaciones en su comportamiento dado que es todavía fuertemente influenciado por su origen y por la duración de la liberación. A menos que entre en ignición en esta fase temprana, la mayor parte de las fugas desarrollan nubes de gas disperso.

Si se tuviera una liberación no instantánea con ignición inmediata se tendría una flama jet.

Flama jet.

El modelo aplicado aquí es relativamente simple debido a TNO (1979).

El modelo de TNO se aplica a un jet de vapor en condiciones ambiente.

En muchos casos el material no estará en condiciones ambiente inmediatamente después de su descarga, la temperatura será menor que la temperatura ambiente y la presión estará sobre la presión ambiente. El jet es modelado con un jet equivalente con la misma tasa de liberación que la descarga real pero con las condiciones de flujo ambiente.

Este jet equivalente emerge de un orificio con un diámetro equivalente D_{eq} dado por:

$$D_{eq} = D_o \sqrt{\frac{P_{go, a}}{P_{g, a}}}$$

Donde:

- D_o es el diámetro del orificio real, usado en el cálculo de flujo (se usará el del diámetro mayor, como caso más desfavorable).
- $P_{go, a}$ es la densidad relativa del gas a las condiciones de flujo, esto es la densidad inmediatamente después de la liberación relativa al aire a las condiciones ambiente.
- $P_{g, a}$ es la densidad del gas a las condiciones ambiente, relativa al aire a las mismas condiciones.

Se asume que el flujo alcanza las condiciones del ambiente inmediatamente, de tal manera que el orificio equivalente puede considerarse coincidente con el orificio real.

Perfil de la concentración del jet.

La concentración sobre el eje del jet a una distancia x del orificio puede obtenerse con:

$$C_m = \left[\frac{\frac{b_1 + b_2}{b_1}}{0.32 \times \frac{x}{D_{eq}} \sqrt{\frac{P_{go, a}}{P_{g, a}} + 1 - P_{g, a}}} \right]$$

Donde:

C_m es la concentración del vapor sobre el eje del jet, en Kg/m^3

$$b_1 = 50.5 + 48 P_{g, a} - 9.95 P_{g, a}^2$$

$$b_2 = 23.0 + 41.0 P_{g, a}$$

Como consecuencia del jet, puede presentarse un incendio.

El modelo usado para estimar los efectos de la radiación térmica es una extensión del modelo anterior (API RP521, Flare Radiation). La flama se modela como una serie de fuentes puntuales espaciadas a lo largo del centro de línea con todas las fuentes radiando iguales cantidades de calor Q .

El calor radiado, Q_b con un gasto liberado Q y n_b fuentes puntuales está dado por:

$$Q_b = \eta Q H_c$$

Donde:

- Q_b calor radiado en Jkg^{-1}
- η factor de eficiencia (conservadoramente tomado como 0.35).
- Q gasto liberado, en Kg/s
- H_c calor de combustión, en Jkg^{-1}

La radiación I , de un punto particular en la flama a una distancia r , es dada por

$$I = \frac{X_g Q_b}{4 \pi r^2}$$

Donde:

- I es la intensidad de calor de la radiación Wm^{-2}
- Q_b calor irradiado en Jkg^{-1}
- r distancia del receptor, en m
- X_g factor de emisión (para fuegos jet, se toma como 0.2)

Dispersión jet.

Si se presentara una liberación no instantánea, y no hay ignición inmediata, se daría una dispersión del jet. Como la nube de gas L.P. es más pesada que el aire, debe analizarse la dispersión de la nube densa.

Explosión.

Una explosión es una liberación repentina de energía, generalmente catastrófica, que causa ondas dañinas de presión en la atmósfera.

La explosión es uno de los dos posibles resultados de la ignición de una nube inflamable de gas. El otro resultado posible es un fognazo con efectos de irradiación pero sin efectos de ráfaga. La probable división entre los dos efectos es materia del juicio de los analistas; típicamente, 15 % de las igniciones retardadas se asumen que provocan explosiones, y 85 % fognazos. Hay dos métodos para estimar los efectos de explosiones. El primero es la estimación de los niveles de daño directamente y el segundo consiste en encontrar la sobrepresión y otros parámetros y estimar su daño. El primer método es más directo y simple; de allí que se recomienda su uso.

La correlación del método dado aquí se ha tomado de TNO (1979).

El método predice el radio de daño $R(s)$, dado por

$$R(s) = C(s) [NE_e]^{1/3}$$

Donde:

- $R(s)$ es el radio de daño, en m
- $C(s)$ es el coeficiente de daño
- N es un factor de rendimiento (producción)
- E_e energía total de explosión, en J

El coeficiente de daño es una constante derivada experimentalmente que define el nivel de daño basado en estudios de las explosiones de nubes de vapor de Flixborough (1974) y Beek (1975). La relación entre $C(s)$ y el nivel de daños se muestra en el cuadro III. 2

El factor de producción N es la proporción de la energía total de producción que está disponible para la propagación de la onda de presión.

La energía total de la explosión puede determinarse calculando la máxima energía liberada de una expansión isentrópica del gas, con la siguiente relación.

$$E = \frac{P_b V}{(\gamma - 1)} \left[1 - \left(\frac{P_a}{P_b} \right)^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right]$$

Donde.

- E es la máxima energía liberada en joules
- V es el volumen del gas en el tanque: 5 m^3
- P_b es la presión de reventamiento del tanque: $1'418,620 \text{ N/m}^2$ (14 kg/cm^2)
- P_a es la presión atmosférica: $80,760 \text{ N/m}^2$ (Cd. de México = $0,797 \text{ kg/cm}^2$)
- γ es la relación de los calores específicos. 1:133

Cuadro III. 2

Valores límite para varios tipos de daños de explosión característicos

C(s)	Valor límite MJ ^{-1/3}	Características del daño	
		A: equipo	A la gente
C(1)	0.03	Daño intenso a edificios y equipo de proceso.	1% de muertes por daño a los pulmones. > 50% de ruptura de tímpanos. > 50% con serias lesiones por proyectiles.
C(2)	0.06	Daño reparable a edificios y daño a las fachadas de viviendas.	1% de ruptura de tímpanos. 1% con serias lesiones por proyectiles.
C(3)	0.15	Daño a vidrios.	Ligeras lesiones por vidrios lanzados.
C(4)	0.4	Daño a cristales de aproximadamente 10 % de las ventanas.	

N se obtiene como:

$$N = N_c N_m$$

Donde:

N_c es la proporción de pérdida de producción debida al desarrollo continuo de concentración de combustible.

N_m es la producción mecánica de combustión, usualmente tomada como 33%.

III.4 Modelos de dispersión de contaminantes

En México la SEMARNAP cuenta con un programa computarizado (modelo de simulación) denominado Sistema de Información Rápida de Impacto Ambiental (SIRIA), el cual es utilizado para evaluar los impactos ambientales producidos por los proyectos de desarrollo del país.

El sistema cuenta con dos módulos de evaluación, además de otros relacionados con los estudios de riesgo; estos módulos son:

a. Modelos de dispersión de aire:

- a.1. Modelo de dispersión de un "puff"
- a.2. Modelo de dispersión de fugas y derrames.

b. Modelo de nubes explosivas.

Las determinaciones efectuadas con SIRIA, posibilitan simular escenarios con los datos que se reporten en los estudios de riesgo, permitiendo ver el posible comportamiento de las sustancias manejadas y aportando acciones tendientes a reducir los radios de afectación mediante la instrumentación de medidas de seguridad adicionales.

Capítulo IV Análisis de falla

V.1 Introducción

Toda industria en la que se pueda ocasionar un accidente importante debe tomar las medidas necesarias contra ese grave riesgo. Para ello se debe tener conciencia de la naturaleza del riesgo, de los acontecimientos que causan accidentes y de las consecuencias potenciales de esos accidentes.

La forma en que se puede realizar lo anterior es llevando a cabo un análisis de riesgo, cuyo objetivo es entender las causas por las que se producen los accidentes con repercusiones ambientales. Es necesario establecer el concepto de riesgo, el cual involucra dos factores:

- 1) La magnitud del evento y de sus efectos, cuantificados en una escala adecuada; y
- 2) La probabilidad de que se presente el suceso correspondiente.

En cuanto a los accidentes industriales que afectan seriamente al ambiente, son de tres tipos fundamentalmente: explosión, incendio y fuga o derrame de productos de alta peligrosidad.

Estos accidentes dependen de tres variables básicas: presión, temperatura y concentración de las diversas sustancias presentes, así como de las condiciones de los recipientes, construcción y diseño de los equipos y las características del transporte de dichas sustancias.

Para el análisis de identificación de falla (*riesgo*), se consideran los siguientes métodos:

V.2 Métodos cualitativos

Estos métodos se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos.

Suelen estar basados en técnicas de análisis crítico en las que intervienen distintos expertos de la planta. Su eficacia depende de la calidad de la información disponible.

Como ejemplos de estos métodos pueden citarse los siguientes:

Análisis Histórico

Consiste en un estudio lo más amplio posible sobre accidentes ocurridos en el pasado en instalaciones y/o con productos similares a los estudiados

*HAZOP (AFO, Análisis Funcional de Operabilidad)
Hazard Operability*

Consiste en aplicar técnicas de análisis de operabilidad. Es una técnica inductiva de análisis realizada por un equipo multidisciplinario para identificar desviaciones del proceso que pueden conducir a accidentes.

Lluvia de ideas para identificar problemas de riesgo y operatividad.

Propósito:	Identificación de problemas de riesgo y operatividad.
Se utiliza:	En la fase final del diseño, en el rediseño, o en instalaciones existentes.
Tipo de resultados:	Identificación de riesgos y problemas de operación, recomendación de cambios en el diseño, procedimientos, para mejorar la seguridad.
Naturaleza de los resultados:	Cualitativa.
Requisitos de los datos:	" HAZOP " requiere de la descripción detallada de la planta (Planos, procedimientos, diagramas de flujo, operación, instrumentación)
Requisito del personal:	De tres a siete profesionistas con experiencia de inventarios, dependiendo del tamaño de la planta.

*Falla, efectos y análisis crítico
(FMECA)*

Es un método inductivo de reflexión sobre las causas consecuencias de fallos de componentes en un sistema.

Forma de la falla:	Descripción de la falla del equipo (abrir, cerrar, fugas, apagón encendido)
Efecto de la falla:	La respuesta del sistema, o el accidente que resulta de la falla.
Propósito:	Identificar formas de la falla en el equipo/sistema y efectos potenciales en el sistema/planta.
Se utiliza:	Durante el diseño, la construcción y la operación de la planta.
Tipo de resultados:	Lista sistemática del equipo, formas de las fallas del sistema/planta y sus efectos.

Naturaleza de los resultados: Cualitativa.

Requisitos de los datos: Lista de equipo del sistema/planta, conocimiento del propósito del equipo y del sistema/planta.

Requerimientos del personal: Analistas.

Análisis preliminar de riesgos

Es un método inductivo en el que se analizan de forma sistemática las causas, efectos principales y medidas preventivas-correctivas asociadas.

Se formula una lista de los riesgos relacionados con:

- Las materias primas, los productos intermedios y finales, y su reactividad.
- El equipo de la planta.
- La inter-relación entre los componentes del sistema.
- El medio operante
- Las operaciones (pruebas, mantenimiento, etc.)
- Las instalaciones, y
- El equipo de seguridad de la planta.

Propósito: Identificación de Riesgos previa al diseño de la planta.

Se utiliza: En la fase inicial de diseño

Naturaleza de los resultados: Lista cualitativa sin estimación numérica ni priorización.

Requisitos de los datos: Criterios de diseño, especificaciones del equipo y los materiales, etc

Requisito del personal: Uno o dos con experiencia en seguridad

Bayesiano Análisis de Probabilidad Condicionada ("What if")

Es un método inductivo que utiliza información específica de un proceso para generar una serie de preguntas que son pertinentes durante el tiempo de vida de una instalación, así como cuando se introducen cambios al proceso o a los procedimientos de operación. Consiste en definir tendencias, formular preguntas, desarrollar respuestas y evaluarlas, incluyendo la más amplia gama de consecuencias posibles.

El análisis de probabilidad condicionada cuida cuidadosamente al resultado de eventos no esperados que pueden producir una consecuencia adversa.

Este método comprende el examen de posibles desviaciones en el diseño, la construcción, modificación u operación de la planta.

Ejemplo:

- ¿Qué pasa si se recibe material equivocado?
- ¿Qué pasa si la bomba "A" se detiene al iniciar la operación?
- ¿Qué pasa si el operario abre la válvula "A" en lugar de la "B" ?

Las preguntas se dividen en áreas específicas de investigación tales como: Seguridad en el sistema eléctrico, equipo contra incendio, seguridad personal, etc.

Las preguntas se hacen con base en experiencias previas y se aplican a planos y diagramas existentes, si la planta esta en operación se incluyen preguntas al personal de la planta.

Propósito:	Identificar las posibles secuencias de eventos-accidentes y los riesgos, consecuencias y quizá los métodos potenciales de reducción de riesgo.
Se utiliza:	Este método se usa en las plantas existentes, durante la etapa de desarrollo del proceso, o en la etapa previa al inicio, es bastante utilizado para examinar los cambios propuestos en una planta existente.
Tipo de resultados:	Enlistar escenarios de accidentes potenciales, sus consecuencias y posibles métodos de reducción del riesgo.
Naturaleza de los resultados:	Lista cualitativa.
Requisitos de los datos:	Documentación detallada de la planta, el proceso, los procedimientos de operación y posibles entrevistas con el personal de la planta.
Requisitos del personal:	Se deben asignar dos o tres expertos para cada área de investigación.

Check list

Constituyen listas exhaustivas de posibles iniciadores-accidentes a contemplar en la identificación de riesgos.

Análisis del error humano

Es una Evaluación Sistemática de los Factores que influyen en el comportamiento de los operarios, el personal de mantenimiento, de los técnicos y demás personal de la planta.

Propósito:	Identificar errores humanos potenciales y sus efectos o identificar las causas de los errores humanos observados.
Se utiliza:	Durante el diseño, la construcción y la operación de la planta.
Tipo de resultados:	Un listado de los tipos de errores más comunes que se dan durante las operaciones normales o de emergencia y de los factores que contribuyen a esos errores; propuestas de modificaciones al sistema para reducir los errores.
Naturaleza de los resultados:	Cualitativo.
Requisitos de los datos:	Procedimientos de la planta, información de entrevistas al personal de la planta, conocimiento de la disposición de la planta, de la ubicación del panel de control y del sistema de alarma.
Requisito del personal:	Un analista.

Arbol de fallas

Técnica deductiva a un evento-accidente en particular que proporciona las causas para determinarlos.

Propósito.	Identificar combinaciones de fallas en el equipo y errores humanos que pueden originar un evento-accidente.
Se utiliza:	En el diseño y la operación de la planta.
Tipo de resultados.	Lista de conjuntos de fallas del equipo y/o el operador que pueden originar un accidente, jerarquizadas por su importancia.
Naturaleza de los resultados:	Cualitativa, con potencial cuantitativo (si se tienen datos probabilísticos).
Requisitos de los datos:	Conocimiento completo del funcionamiento de la planta/sistema; conocimiento de las formas de falla del equipo de la planta/sistema y sus efectos
Requisito del personal:	Un analista asegurado por los Ingenieros y operarios de la planta

Árbol de eventos

Técnica para evaluar el accidente potencial que resulta de un error humano o falla del equipo y que se conoce como evento inicial.

Esta técnica considera la respuesta del operador o del sistema de seguridad al evento inicial.

El resultado del árbol de eventos son secuencias del accidente o fallas y errores en orden cronológico que definan un accidente.

Los resultados describen el posible accidente, en términos de la secuencia de accidente de que siguen a un evento inicial.

Propósito:	Identificar la secuencia de eventos, que siguen del evento inicial y que tienen como resultado un accidente.
Se utiliza:	En el diseño y la operación de la planta.
Tipo de resultados:	Proporciona las secuencias del evento que da como resultado un accidente una vez que ocurre el evento inicial.
Naturaleza de los resultados:	Cualitativos con potencial cuantitativo.
Requisitos de los datos:	Conocimiento de los eventos iniciales (fallas del equipo/sistema) que pueden causar un accidente y del funcionamiento de los sistemas de seguridad o de los procedimientos de emergencia que pueden mitigar los efectos de un evento inicial.
Requisito del personal:	Un analista o de preferencia un equipo de dos o cuatro personas.

Análisis causa - consecuencia

Es una combinación del árbol de eventos y del árbol de fallas para evaluar accidentes potenciales.

Propósito:	Identificar las consecuencias del accidente potencial, relacionadas a sus causas básicas.
Se utiliza:	Durante el diseño y la operación de la planta o las instalaciones.
Tipo de resultados:	Consecuencias del accidente potencial, relacionadas a sus causas básicas.
Naturaleza de los resultados:	Cualitativos con potencial cuantitativo.

Requisitos de los datos: Conocimientos de las fallas de los componentes o del proceso que pueden causar accidentes y de los sistemas de seguridad o los procedimientos de emergencia que puedan influir en el resultado de un accidente.

Requisito del personal: Un equipo de dos a cuatro personas con diversa experiencia.

7.3 Métodos semicualitativos

Estos métodos se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación con base en una serie de índices que miden su potencial para ocasionar daño en función de una serie de magnitudes y criterios (cantidad de producto, características de peligrosidad, etc.). Entre estos métodos destacan:

Clasificación mediante el índice de Mond de fuego, explosión y toxicidad

Este método se basa en la peligrosidad de los productos y en el carácter crítico de los procesos en función de sus antecedentes de operación en instalaciones similares. Permite tener índices numéricos de riesgo para cada sección de las instalaciones industriales, en función de las características de las sustancias manejadas, de su cantidad, del tipo de proceso, y de las condiciones específicas de operación.

Clasificación mediante el índice Dow de fuego, explosión y toxicidad.

Este método intenta cuantificar anticipadamente daños potenciales por incendios y explosiones, identificando las causas y a los generadores, y reduciendo los riesgos potenciales a una valoración económica que permita jerarquizar decisiones. Este sistema separa los procesos industriales en sectores específicos identificando materiales, proceso y propiedades termodinámicas relevantes, requiriendo un diseño preciso de la unidad industrial analizada, diagramas de flujo del proceso, información económica de costos y beneficios y formatos sistematizados de reporte. La diferencia fundamental con respecto al índice de Mond es que éste se contempla el riesgo de toxicidad.

Otros métodos de apoyo

Básicamente se incluye aquí las auditorías ambientales que pretenden responder a otros objetivos relativos a la organización de seguridad, el cumplimiento de una legislación, etc.), pero puede constituir una base para la identificación de riesgos.

Índices dow y mond

Para categorizar los riesgos en una industria química se otorgan puntos negativos y positivos.

Puntos negativos a.

Procesos

Materiales y

Condiciones que pueden contribuir a un accidente

Puntos positivos a:

Las características de seguridad que pueden aminorar los efectos de un accidente.

Los puntos positivos y negativos combinados dan lugar a un índice que es el nivel relativo de riesgo de la planta.

IV.4 Técnicas de análisis de frecuencias

En las evaluaciones de riesgo es necesario el análisis cuantitativo de frecuencia para poder establecer con qué periodicidad podría suceder un escape o emisión peligrosa, y la probabilidad de un desastre peligroso determinado, como producto del escape; por ejemplo, si pudiese haber un BLEVE inflamable después del escape de un gas licuado, las técnicas de análisis de frecuencia incluyen:

- a) Uso de datos históricos.
- b) Modelación detallada de frecuencia.
- c) Análisis de falla de origen común.
- d) Análisis de confiabilidad humana.
- e) Análisis de acontecimientos externos.

A continuación se describen brevemente estas técnicas.

- a) Uso de datos históricos para calcular la frecuencia de los escapes.

Incluye el análisis y agrupamiento de accidentes registrados durante un periodo de tiempo; suministra directamente el acontecimiento más frecuente sin necesidad de hacer una modelación detallada de la frecuencia.

- b) Modelación detallada de frecuencia.

Esta técnica se utiliza para estimar las frecuencias o probabilidades de más datos básicos cuando no hay datos históricos disponibles o son limitados. Entre estas técnicas, las principales son: árboles de fallas y árboles de sucesos (o de eventos).

- c) Análisis de falla de origen común.

Se usa para identificar y analizar sucesos individuales que pueden ocasionar fallas de más de un componente del sistema. Ejemplos de orígenes comunes típicos son: fallas en el sistema de ventilación de instrumentos o corte de energía.

Análisis de confiabilidad humana.

Se usa para suministrar estimaciones cuantitativas acerca de la frecuencia de errores humanos para incluirlos en el análisis del árbol de fallas.

Análisis de acontecimientos externos.

Se usa para identificar y analizar los sucesos externos, tales como terremotos, catástrofes aéreas, terrorismo, etc., los cuales pueden iniciar accidentes potenciales, especialmente aquellos que tiene potencial para iniciar fallas de origen común.

Por considerarla de especial interés, en los apartados siguientes se describe la técnica de elaboración detallada de frecuencia mediante **árboles de fallas** y **árboles de sucesos**.

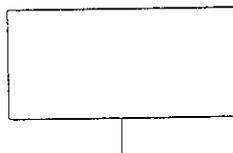
Árboles de fallas

Los árboles de fallas constituyen una técnica ampliamente utilizada en los análisis de riesgo debido a que proporcionan resultados tanto cualitativos como cuantitativos.

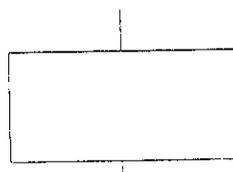
Esta técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de las fallas básicas de los elementos que intervienen en él. De esta manera, se puede apreciar de forma cualitativa, qué sucesos son menos probables porque requieren la ocurrencia simultánea de numerosas causas.

La técnica consiste en desglosar sistemáticamente un suceso complejo, denominado suceso TOP, en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos.

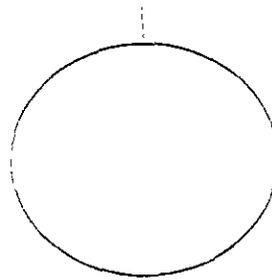
Suceso TOP: es el suceso complejo que se somete a estudio. Se representa mediante un rectángulo y ocupa la parte superior de la estructura lógica que representa el árbol de fallas.



Sucesos intermedios: son sucesos que se encuentran en medio del proceso de desglose y que a su vez pueden ser de nuevo desglosados. Se representan en el árbol de fallas como rectángulos y se colocan en medio de la estructura.

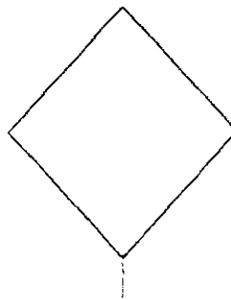


Sucesos básicos: son los sucesos terminales del desglose. Pueden representar cualquier tipo de suceso: sucesos de "fallas", error humano, o sucesos de "éxito", ocurrencia de un evento determinado. Se representan en forma de círculos en la estructura del árbol.



Suceso básico

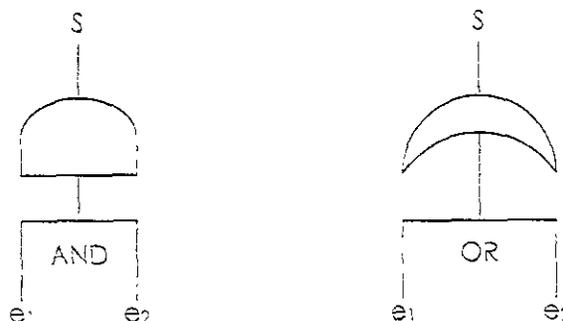
Sucesos no desarrollados. Existen sucesos en el proceso de desglose del árbol de fallas que no prosiguen por falta de información o bien porque no se considera necesario. Se representan mediante un rombo y se tratan como sucesos básicos.



Suceso no desarrollado

En el proceso de desglose del árbol se recurre a una serie de puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos. Los dos tipos más elementales corresponden a las puertas AND y OR cuyos símbolos se indican a continuación. La puerta OR se utiliza para indicar un "O" lógico: significa que la salida lógica S ocurrirá siempre y cuando ocurran por lo menos una de las dos entradas lógicas e_1 ó e_2 .

La puerta AND se utiliza para indicar un "Y" lógico. Para que ocurra la salida lógica S es necesario que ocurran conjuntamente las dos entradas lógicas e_1 y e_2 .



Se acostumbra numerar las puertas del árbol para facilitar su identificación.

Elaboración de árboles de fallas

En la elaboración del árbol de fallas se integran todos los conocimientos sobre el funcionamiento y operación de la instalación con respecto al suceso estudiado.

El primer paso consiste en identificar el suceso "no deseado" o suceso TOP que ocupará la cúspide de la estructura gráfica representativa del árbol. Los eventos TOP son los acontecimientos más notorios tales como escapes de materiales tóxicos o inflamables o fallas en depósitos. De la definición clara y precisa del suceso TOP depende todo el desarrollo del árbol.

A partir del suceso TOP se establecerán en forma sistemática todas las causas inmediatas (necesarias y suficientes) que contribuyen a la ocurrencia del suceso TOP o principal, definiendo en los sucesos intermedios unidos a través de las puertas lógicas. El proceso de desglose de un suceso intermedio se repite sucesivamente hasta llegar a los sucesos básicos, mismos que no pueden seguir desglosándose, ya sea por falta de información, o por decisión del consultor. Este proceso de desglose se lleva a cabo usando la "lógica de retroceso" formulando preguntas como las siguientes: ¿cómo puede suceder esto?, o ¿cuáles son las causas de este suceso?.

Para seguir los eventos se utiliza un enfoque de palabras guía y por cada línea se hacen preguntas como las siguientes: ¿que causaría (no causaría, más, menos) (flujo, presión) en esta línea?, e ir hacia atrás hasta que se identifique un acontecimiento básico con una frecuencia reconocida, como puede ser una falla de la bomba o un error humano.

La construcción de un árbol de fallas es un arte más que una ciencia.

Conjuntos mínimos de fallas.

Son las combinaciones mínimas de sucesos primarios cuya ocurrencia simultánea garantiza la ocurrencia del propio suceso TOP.

Del estudio y análisis de la lista de conjuntos mínimos de fallas se podrán obtener las conclusiones cualitativas sobre las causas principales que conducen al evento en estudio o suceso TOP.

Ámbito de aplicación del método

Esta técnica, por su grado de elaboración, se aplica a sucesos relativamente complejos para los cuales intervienen muchos elementos y que se pueden desglosar.

Recursos materiales del método.

Esta técnica es relativamente detallada y requiere un excelente conocimiento del sistema. Desde el punto de vista de documentación se requerirá toda la disponible, fundamentalmente la siguiente: diagramas de flujo, diagramas de tuberías e instrumentación, procedimientos de operación y mantenimiento así como diagramas lógicos de control.

Ventajas del método.

Esta técnica estudia las causas de los sucesos no deseados y permite evidenciar los puntos débiles de un sistema (conjuntos mínimos de fallas). Este aspecto es fundamental en materia de prevención de accidentes.

Desventajas del método.

El desarrollo cualitativo de un árbol de fallas ofrece sólo orientación en cuanto a la frecuencia en la ocurrencia de sucesos basada en el número de causas necesarias para su ocurrencia.

Es una técnica compleja; para su aplicación se requiere de experiencia en la metodología, conocimiento del sistema en estudio y de tiempo para su desarrollo.

Ejemplo

La figura IV.4.1 muestra un sistema simple de almacenaje y entrega de gas licuado.

La figura IV.4.2 ilustra el árbol de fallas correspondiente.

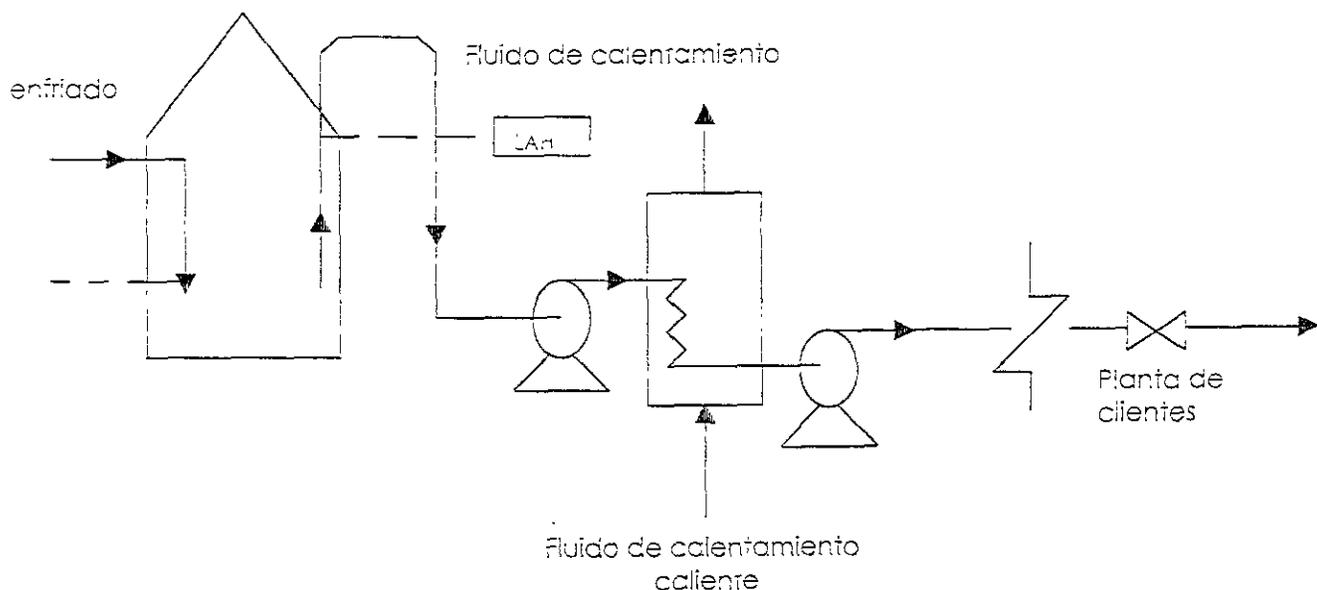


Figura IV.4.1. Sistema simple de almacenaje y entrega de gas licuado.

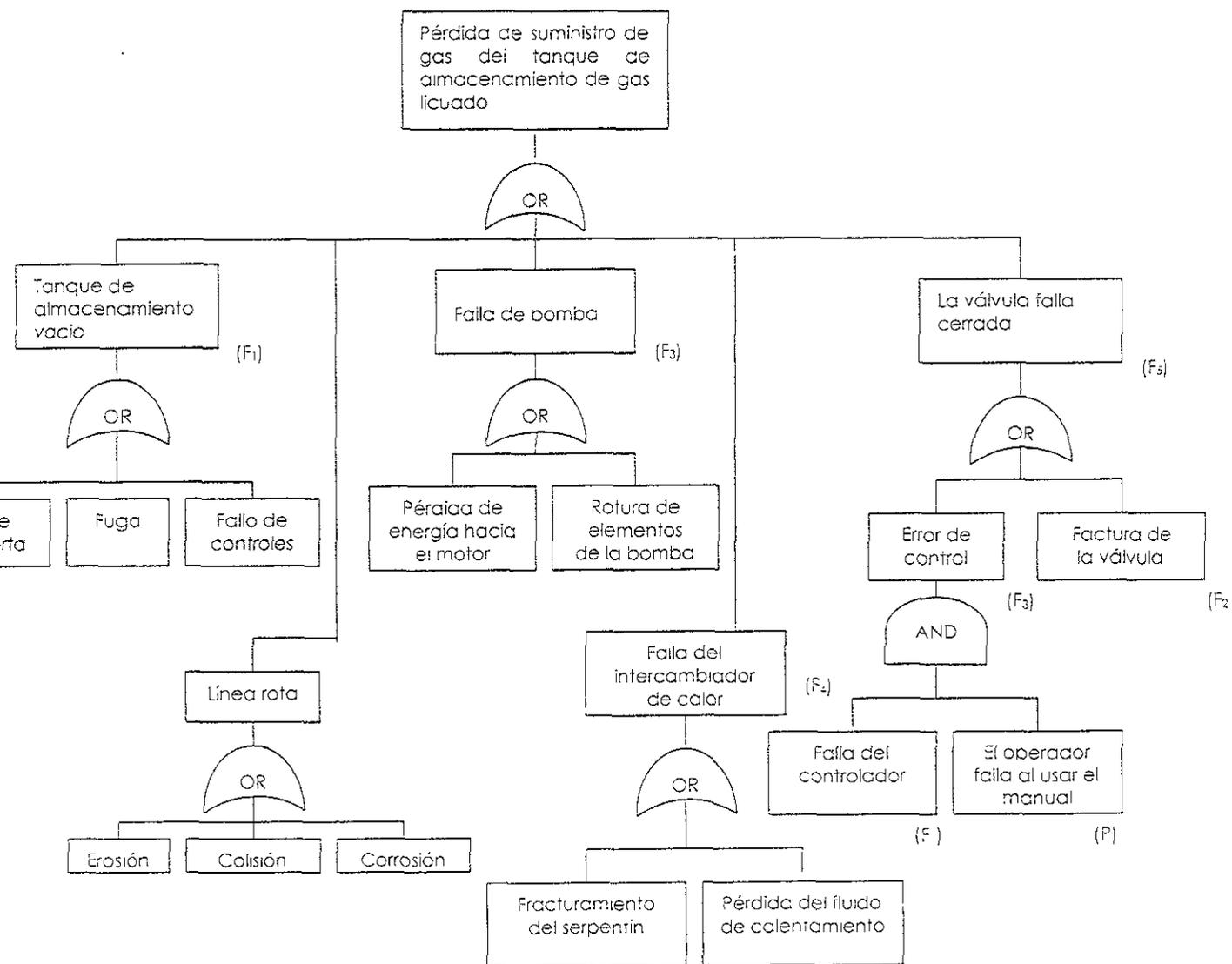


Figura IV.4 2. Árbol de fallas.

La frecuencia del caso en que "la válvula falla cerrada" se puede estimar basándose en

- ❖ Información sobre la historia de confiabilidad del tipo de reguladores para controlar la válvula (f_1);
- ❖ Probabilidades históricas de errores del operador en operaciones similares siempre y cuando el regulador hubiera fallado (P), y
- ❖ Información histórica de confiabilidad en la integridad de la válvula (f_2).

Cuadro IV.4 1 se presentan las reglas para el cálculo del árbol de fallas de computadora en computadora.

Cuadro IV.4.1. Reglas para el cálculo* de árbol de fallas de compuerta en compuerta.

COMPUERTA	ADMISION ENLACE	CALCULOS PARA ADMISION	UNIDADES
Ó (OR)	P_A ó P_B	$P(A \text{ ó } B) = 1 - (1 - P_A)(1 - P_B)$ $= P_A + P_B - P_A P_B$ $= P_A + P_B$	t ⁻¹
	F_A ó F_B	$F(A \text{ ó } B) = F_A + F_B$	
	P_A ó F_B	No permitido	
Y (AND)	P_A Y P_B	$P(A \text{ y } B) = P_A P_B$	t ⁻¹
	F_A Y F_B	Enlace no usual, reformar a F_A Y F_B	
	F_A Y P_B	$F(A \text{ y } B) = F_A P_B$	

* P, probabilidad; F, frecuencia (tiempo t⁻¹); t, tiempo (usualmente en años).

Cálculo de la frecuencia del caso "falta de control".

$$F_3 = f_1 P$$

Cálculo de la frecuencia del caso en que "la válvula falla cerrada"

$$F_5 = f_3 + f_2$$

Cálculo de la frecuencia del caso del acontecimiento más notorio

$$F_7 = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

Árboles de Sucesos (o árboles de eventos).

Un árbol de sucesos es el modelo gráfico - lógico que identifica y cuantifica los resultados posibles después de haberse iniciado el acontecimiento.

La aplicación del árbol de sucesos pre-incidente proporciona una cobertura sistemática de la secuencia, en tiempo, de la propagación del suceso por medio de una serie de acciones del sistema de protección, funciones normales de la planta e intervenciones del operador. Esta aplicación se utiliza para evaluar la efectividad de un sistema de protección de elementos múltiples.

La aplicación post-incidente proporciona una cobertura sistemática de la propagación del acontecimiento por medio de un rango de consecuencias posibles, y se utiliza en la identificación de los resultados finales del incidente. Las consecuencias pueden ser directas, por ejemplo incendios o explosiones; o indirectas, por ejemplo, efectos en cadena en plantas o unidades vecinas. La aplicación post-incidente es de uso común en la evaluación de seguridad en riesgos.

El objetivo de construir un árbol de sucesos es identificar los resultados importantes posibles que tiene valor para la evaluación del riesgo.

Si la meta del análisis es estimar el riesgo de muertes fuera del lugar, se requiere solamente desarrollar los resultados pertinentes a esa consecuencia (muertes fuera de lugar). Se pueden dejar de desarrollar las ramificaciones que conducen a consecuencias menores.

Un corolario de esto es que el analista del riesgo debe saber el orden de magnitud de las consecuencias potenciales del desenlace de los acontecimientos antes de terminar el desarrollo del árbol de sucesos.

Este requisito lleva frecuentemente a un proceso iterativo donde las consecuencias de los resultados de los sucesos se modelan primero utilizando enfoques aproximados, perfeccionando entonces el árbol de sucesos y repitiendo los cálculos de las consecuencias utilizando enfoques más detallados.

Construcción del árbol de sucesos.

La construcción del árbol comienza por la identificación de los N factor condicionante de la evolución del suceso iniciador. Se colocan éstos como cabeza de la estructura gráfica. Partiendo del iniciador se plantea sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del evento condicionante y en la parte inferior se representa la falla o no-ocurrencia del mismo. Se tienen así $2N$ combinaciones o secuencias teóricas. Sin embargo, las dependencias entre los sucesos hacen que la ocurrencia o éxito de uno de ellos pueda eliminar la posibilidad de otros, reduciéndose así el número total de secuencias.

La disposición horizontal de las cabezas se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente.

La técnica así aplicada proporciona la lista de las secuencias accidentales posibles, número de elementos que la constituyen y tipo (Éxito-Falla). De su estudio se podrán obtener las correspondientes conclusiones

Ámbito de aplicación del método

El método puede ser utilizado para describir la evolución de sucesos iniciadores y definir las secuencias accidentales.

Ventajas del método

Permite un estudio sistemático y exhaustivo de la evolución de un suceso.

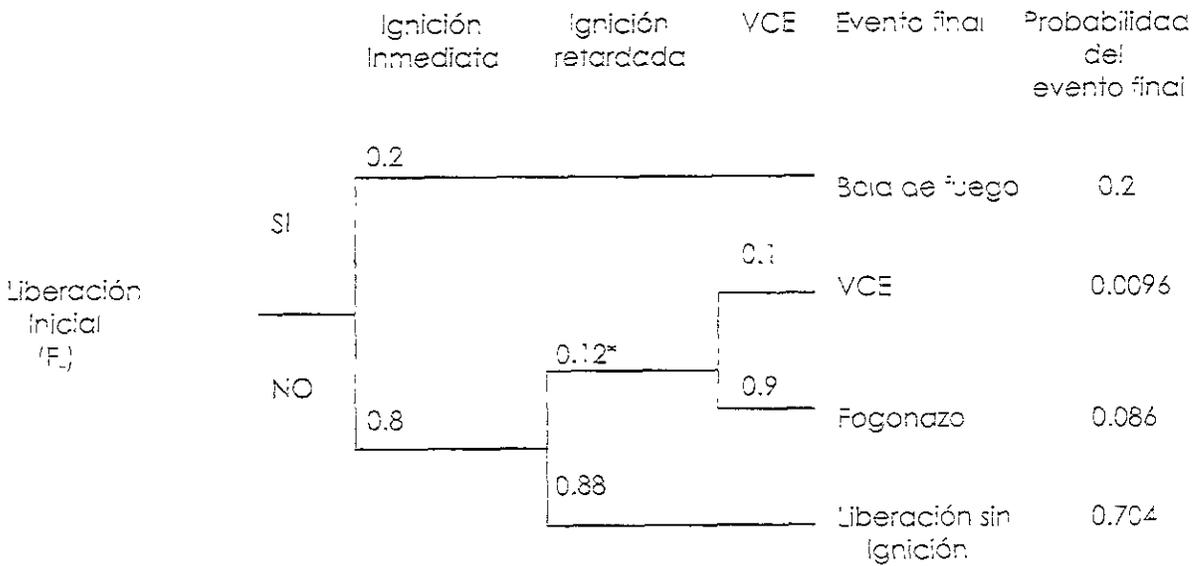
Su aplicación es muy sencilla.

Desventajas del método

Si el árbol es grande su desarrollo puede hacerse laborioso.

Ejemplo

La figura IV.4.3. ilustra el ejemplo del árbol de sucesos post-incidente de un gran escape de propano.



* Densidad de población suburbana.

Figura IV.4.3. Árbol de sucesos post-incidente de un gran escape de propano.

IV.5 Aplicación de los métodos

Los métodos más utilizados para identificación de riesgos en México, son:

- Análisis histórico de accidentes.
- Análisis preliminar de riesgo; y
- Análisis funcional de operatividad (HAZOP o AFO)

Análisis histórico de accidentes

Consiste en estudiar los accidentes registrados en el pasado en plantas similares o productos idénticos o de la misma naturaleza.

Se basa en información de procedencia diversa:

- Bibliografía especializada (publicaciones periódicas y libros de consulta).
- Bancos de datos de accidentes archivados en computadora.
- Registro de accidentes de la propia empresa, de asociaciones empresariales (Cámaras) o de las autoridades competentes.
- Informes o peritajes realizados normalmente sobre los accidentes más importantes.

Algunos factores que se deben considerar al plantear y desarrollar un análisis histórico de accidentes es la siguiente:

1. Determinar la definición de accidentes a analizar:

- Tipos de accidentes a ser estudiados (productos, instalaciones).

2. Identificación exacta del accidente:

- Lugar
- Fecha y hora
- Productos implicados
- Instalación o equipos implicados

3. Identificación de las causas de los accidentes:

- Errores humanos
- Fallo de equipos
- Fallo de diseño o de proceso

4. Identificación del alcance de los daños causados:

- Pérdida de vidas
- Heridos
- Daños al medio ambiente
- Pérdidas de instalaciones y daños materiales
- Evacuación de personas, otras medidas, etc.
- Impacto en la población en general

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

Recursos necesarios para la aplicación de esta técnica.

Esta es una técnica relativamente poco costosa dentro del campo del análisis de riesgo. El proceso consta de la consulta a la fuente o fuentes de información seleccionadas y posteriormente un trabajo de selección y elaboración estadística de los resultados obtenidos.

Ventajas del método.

• El establecimiento de hipótesis de accidentes se basa en casos reales

- Se realiza una identificación rápida de accidentes a bajo costo.
- Es de especial utilidad cuando se aplica a procesos y productos de utilización masiva o frecuente (productos energéticos, productos químicos de base).
- Puede ser de utilidad para hacer una aproximación cuantitativa de la frecuencia de determinados tipos de accidentes en caso de disponerse de una base estadística suficientemente representativa.

Desventajas del método.

- En México no se mantiene un registro sistematizado de accidentes.
- No se realiza un seguimiento sistemático de los accidentes y sus consecuencias.
- Hay empresas que no informan los accidentes en que se ven involucradas.
- Los accidentes sobre los que se puede encontrar documentación completa son únicamente los "más importantes".
- Los datos a menudo no son extrapolables a instalaciones de diseños diferentes.
- Los accidentes producidos en el pasado han tenido en general respuestas en modificaciones o prácticas operativas más seguras que hacen que sea más difícil que se reproduzcan en condiciones similares.
- Los resultados obtenidos dependen mucho de la calidad y de la información disponible en las fuentes de información consultadas.

Ejemplo:

Se reseña a continuación un análisis histórico de accidentes con cloro realizado mediante el banco de accidentes italiano SONATA que reúne 2,500 casos registrados principalmente entre 1960 y 1988, con referencias a casos anteriores. Las fuentes de procedencia son públicas.

a) Listado de accidentes.

En el banco de accidentes de SONATA se encontraron 60 accidentes con cloro en un período de 1917 a 1986.

Se presenta una breve descripción de una selección de 9 casos de los 60 accidentes recogidos en total en el banco de accidentes SONATA.

1. Escape por una válvula de un vagón cisterna en una estación. Se derramaron 3 t de cloro durante 10 minutos (SONATA 25).
2. Durante la descarga de un vagón cisterna la energía eléctrica falló dejando la planta a oscuras. Un trabajador intentando cerrar la válvula, provocó la rotura de la tubería debido a un golpe accidental. Hubo un muerto y 60 heridos (SONATA 28).
3. Durante la descarga de un vagón cisterna en una fábrica de celulosa se rompió una tubería provocando un escape de cloro. Hubo 62 heridos (SONATA 96).
4. Escape de cloro en una planta debido a una falla mecánica. Entre los intoxicados había dos obreros de la construcción que trabajaban en una ampliación de la planta y que tuvieron que recibir asistencia hospitalaria. Hubo un total de 141 heridos (SONATA 1486).

Escape de cloro de contenedores debido a un incendio en un almacén en el que estuvieron involucradas otras sustancias químicas que estaban almacenadas en recipientes (ácido clorhídrico, glicerina, etc.). 500 personas tuvieron que ser evacuadas de sus casas y 25 resultaron heridas (SONATA 1514).

Escape de cloro gas en una industria de proceso. Hubo 45 heridos (SONATA 1599).

Rotura de una línea de 25 cm de diámetro que fue golpeada por un camión cisterna. Se derramó 1 t de cloro en el centro de un área edificada. Al menos 430 personas intoxicadas. La causa fue debida a un error humano (SONATA 157).

Explosión en una planta química que conujo a la liberación de cloro; 10,000 personas evacuadas (habitantes locales). Hubo un total de 10 heridos (SONATA 429).

Escape de 2 t de cloro gas desde un tanque. La nube fue barrida por el viento hacia una fábrica y hacia el pueblo. Las escuelas primarias fueron evacuadas. Hubo 75 heridos (SONATA 494).

Clasificación de accidentes por tipo de actividad (60 accidentes).

Actividad	Porcentaje
Proceso	10
Almacenamiento	52
Carga y descarga	17
Transporte por tubería	20
Otras	1
Total	100

Clasificación por tipo de accidente (60 accidentes).

Tipo de accidente	Número de accidentes	Porcentaje
Rotura de depósito	9	15
Rotura de contenedor	6	10
Escape	33	55
Rotura de tubería	12	20
Total	60	100

Clasificación por daños

Víctimas mortales

Porcentajes de accidentes de los que poseen datos: 36 %

Muertos por accidente: 0.4⁹
Número total de muertos: 149 (60 accidentes).

2. Heridos

Porcentaje de accidentes de los que se poseen datos: 77 %

Heridos por accidente: 201¹⁰
Número total de heridos: 2068 (60 accidentes).

3. Daños en dólares

Porcentaje de accidentes de los que se poseen datos: 8 %
Costo medio: 1.7×10^6
Costo desde: 0.717×10^6 hasta 5×10^6

4. Clasificación por cantidad implicada

Porcentaje de accidentes de los que se poseen datos: 50 %
Cantidad desde 60 kg hasta 95 t, en los casos registrados.

Comentario final

Cabe destacar las características altamente tóxicas del cloro que obligan a evacuar amplias zonas habitadas en caso de escapes significativos. Es asimismo destacable el número de muertos y heridos, aunque los primeros se deben fundamentalmente a accidentes antiguos que no se han vuelto a repetir en épocas recientes, seguramente debido a la eficacia de las normas específicas que sobre el producto han ido imponiendo los países.

Análisis preliminar de riesgo

Este análisis puede llevarse a cabo como la primera etapa en un estudio de riesgo. Comienza con el tipo de accidente que entraña materiales tóxicos, inflamables y explosivos. El procedimiento especifica los elementos del sistema (componentes de la planta como cisternas de almacenamiento, recipientes de reacción, etc.) o el acontecimiento (sobrecarga de una cisterna, reacción de desbordamiento), que pueden producir una situación de riesgo.

⁹ Para estimar la medida no se han tenido en cuenta aquellos tres accidentes en los que se ha producido un número excepcional de víctimas como:
40 muertos DENOYA (USA) en 1925
68 muertos en SARNESTI (RUMANIA) en 1939
19 muertos en RAUMA (FINLANDIA) en 1947

¹⁰ No se han considerado los accidentes en los que el número de heridos es superior o igual a 100 y que acumulan un total de 1008 heridos.

Una vez puestos al descubierto los sistemas de riesgo, se deben especificar los acontecimientos que pueden provocar el accidente. Acontecimientos tales como "la formación de una atmósfera explosiva fuera o dentro de un recipiente de almacenamiento" o "el escape de un gas tóxico", tendrán que examinarse con el fin de determinar los componentes de una planta que pueden causar el accidente. Los componentes, entre los que cabe mencionar las cisternas de almacenamiento, los recipientes de reacción, las tuberías, las bombas, los agitadores, las válvulas de seguridad u otros sistemas, tendrán que señalarse para efectuar un examen más detallado por otros métodos de evaluación.

Los resultados del análisis preliminar del riesgo se registran en un formato como el que se muestra en el Cuadro IV.5.1.

Puesto que el análisis preliminar del riesgo es rápido y eficaz en función de los costos, y dado que identifica los problemas esenciales, el estudio de riesgo debe comenzar siempre con este método.

Cuadro IV.5.1.

Análisis preliminar del riesgo de accidentes en una planta de almacenamiento de gas licuado.

ACCIDENTE	SISTEMA	RIESGO	COMPONENTE RELACIONADO CON LA SEGURIDAD
Explosión de vapor	Recipiente de Almacenamiento	Formación de una atmósfera explosiva fuera del recipiente de almacenamiento debido a:	Válvula de seguridad
		- Fallo de una válvula de seguridad	Protección del recipiente contra la corrosión
		- Corrosión del recipiente.	Medida de la presión, medida de la temperatura, sistema de aspersión, válvula de seguridad.
		- Presión excesiva	

Sus resultados indican qué sistemas o procedimientos han de ser objeto de un análisis más profundo y qué sistemas tienen un menor interés desde el punto de vista del riesgo de accidente mayor. De este modo, es posible limitar la evaluación a los problemas esenciales, evitando así un esfuerzo innecesario.

El procedimiento descrito puede aplicarse a la totalidad de la planta o a una parte de ella, su aplicación a grandes plantas es muy compleja y difícil, por lo que es necesario hacer algunas simplificaciones. Algunas de estas simplificaciones son técnicas ampliamente usadas para estructurar el análisis de riesgo eficientemente. A continuación se presenta cómo puede subdividirse la planta en unidades manejables:

Paso 1. División del sitio en unidades funcionales

Cada unidad debe incluir al menos un depósito principal de almacenamiento o una tubería que contenga material peligroso. Las fronteras de cada unidad deben trazarse de manera que pueda aislarse del depósito o la tubería de todas las otras unidades en el caso de una fuga. Los medios posibles de aislamiento podrían ser una válvula de cierre de emergencia operada automáticamente, o una válvula de control que podría ser cerrada sin la presión o el nivel en el depósito estuvieran descendiendo. Las válvulas operadas manualmente no se consideran adecuadas a menos que fueran operadas remotamente.

Las liberaciones de una unidad se consideran generalmente, que provienen de un punto específico; si las partes de la unidad están ampliamente separadas podría ser aconsejable dividir la unidad en subunidades.

Paso 2. División de las unidades en sus componentes

Cada unidad debe dividirse en sus "bloques constructivos" que la componen. Estas son piezas o equipos como los listados en capítulo 1.3. Si el analista se enfrenta a un componente no incluido en la lista, se elige el que más se aproxime de manera que pueda proseguirse el análisis.

Paso 3. Obtener los inventarios de material peligroso en los componentes.

Los inventarios de todos los materiales peligrosos se obtienen consultando el flujo del proceso y diagramas de tuberías e instrumentación. La descripción de cada inventario debe incluir tipo de material, fase, presión, temperatura y masa o volumen.

Paso 4. Ordenar los componentes por inventario.

Se puede reducir la cantidad de cálculos o proporciones manejables si el análisis se limita a los componentes que contengan inventarios significativos. Para una evaluación de riesgo relacionada con las consecuencias de accidentes potenciales en el sitio, es difícil establecer inventarios mínimos. Sin embargo para consecuencias fuera del sitio el lector puede referirse a las guías del Banco Mundial.

Paso 5. Obtener los casos representativos de falla de los componentes.

Sólo se requiere considerar una cantidad reducida de casos de falla para cada depósito, componente y tubería. En el capítulo 1.3, se proporciona una guía de los casos más comunes de falla, que muestra los componentes que son considerados como "Bloques constructivos". Estos casos de falla están basados en criterios conservadores.

Paso 6. Agrupar los casos de liberación.

Algunas de las liberaciones consideradas en la identificación de riesgos podrían involucrar el mismo material bajo condiciones similares escapando a través de orificios también de dimensiones similares, aunque en diferentes localizaciones en la planta. Para reducir la cantidad de cálculos necesarios, estas liberaciones pueden agruparse y entonces se requerirá sólo un cálculo para cada grupo.

Análisis Funcional de Operatividad (HAZOP).

En algunos casos, después del análisis preliminar de riesgo, que establece los sistemas o acontecimientos que pueden ocasionar un riesgo de accidente mayor, es necesario estudiar qué variaciones del funcionamiento normal de esos sistemas o qué funcionamientos defectuosos podrían provocar esos acontecimientos de riesgo. Para ello, resulta esencial hacer un examen detallado del sistema y de su modo de funcionamiento. El análisis funcional de operatividad permite hacerlo.

El HAZOP o AFO (Análisis Funcional de Operatividad) es una técnica inductiva de identificación de riesgos basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación.

La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de las desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guía" en puntos de las instalaciones previamente seleccionados, denominados "nudos".

Definición del área de estudio.

La primera parte del estudio HAZOP consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplicará la técnica. En una instalación de proceso, considerada como el sistema objeto de estudio, se definirán para mayor comodidad una serie de subsistemas o unidades que corresponden a entidades funcionales propias, como por ejemplo: preparación de materias primas, reacción de disolventes, etc.

Definición de los nudos.

En cada subsistema se identificarán una serie de nudos o puntos claramente localizados en el proceso. Ejemplos de nudos pueden ser, la tubería de alimentación de una materia prima, un reactor aguas arriba de una válvula reductora, impulsión de una bomba, superficie de un depósito, etc.

Cada nudo será numerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido de proceso para mayor comodidad. La técnica HAZOP se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nudo vendrá caracterizado por unos valores determinados de las variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, estado físico.

Los criterios para seleccionar los nudos tomarán básicamente en consideración los puntos del proceso en los cuales se produzca una variación significativa de alguna de las variables de proceso.

A efecto de la reproducibilidad de los estudios, es conveniente reflejar en esquemas simplificados (o en los propios diagramas de tuberías e instrumentación), los subsistemas considerados y la posición exacta de cada nudo y su numeración en cada subsistema.

Es de notar que por su amplio uso la técnica tiene variables en cuanto a su utilización que se considera igualmente válidas. Entre éstas destacan, por ejemplo, la situación del concepto de nudo por él de tramo de tubería o la identificación nudo - equipo.

3. Definición de las desviaciones y palabras guía a estudiar.

Para cada nudo se plantearán, de forma sistemática, las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía. Por ejemplo.

Palabras guía	Variabes de proceso o desviación
Más	Presión
Menos	Temperatura
No	Caudal
Inverso	Nivel

En lo esencial, las palabras guía se utilizan para que las preguntas que se formulan con el fin de poner a prueba la integridad de cada parte del diseño, sirvan para analizar cada forma concebible en que el diseño se podría desviar de su intención. Habitualmente, esto produce varias desviaciones teóricas y cada desviación se estudia luego para decidir cómo podría producirse y cuáles serían sus consecuencias.

Es posible que algunas de las causas sean poco realistas y en ese caso las consecuencias derivadas se rechazarán por carecer de interés. Algunas de las consecuencias pueden ser triviales, y su examen no se proseguirá. Sin embargo, puede haber algunas desviaciones cuyas causas sean concebibles y cuyas consecuencias sean potencialmente graves. De éstas se ha de tomar nota para adoptar medidas correctivas.

Después de examinar una parte del diseño y de registrar todos los riesgos potenciales asociados con ella, el estudio pasa a concentrarse en la parte siguiente del diseño. El examen se repite hasta que se ha estudiado toda la planta.

El objetivo del examen es poner al descubrimiento todas las desviaciones posibles de la forma que el diseño está destinado a funcionar y todos los riesgos asociados con esas desviaciones. Además, algunos de los riesgos se pueden evitar si la solución es evidente y no es probable que ocasione efectos negativos en otras partes del diseño, pudiéndose adoptar sobre la marcha la decisión de modificar el diseño. Sin embargo, esto no siempre es posible, en particular cuando puede resultar necesario, por ejemplo, obtener más información. En consecuencia, el resultado de los exámenes normalmente consiste en una mezcla de decisiones y de preguntas por contestar en las "sesiones HAZOP".

4. Sesiones HAZOP.

Las sesiones HAZOP tiene como objetivo inmediato analizar las desviaciones analizadas de forma ordenada partiendo de los diferentes nudos.

Informe Final.

El informe final de un HAZOP constará de los siguientes documentos:

Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nudo de cada subsistema.

Formatos de recopilación de las sesiones con indicador de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.

Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.

Lista de las medidas a tomar obtenidas de las sesiones. Constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios y cuando se disponga de más elementos de decisión.

Lista de los sucesos iniciadores identificados.

ambito de Aplicación del método HAZOP.

El método encuentra su utilidad principalmente en instalaciones de proceso de relativa complejidad o en áreas de almacenamiento con equipos de regulación o diversidad de tipos de asiegos.

ventajas del método.

Es la ocasión perfecta y quizás "única" para contrastar distintos puntos de vista de una planta.

Es una técnica sistemática que puede crear, desde el punto de vista de seguridad, hábitos metodológicos útiles.

El coordinar mejora su conocimiento del proceso

No requiere prácticamente recursos, a excepción del tiempo de dedicación.

Desventajas.

Es una técnica cualitativa. No hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una consecuencia grave ni tampoco del alcance de la misma

Las modificaciones a la planta surgidas de HAZOP deben analizarse con mayor detalle

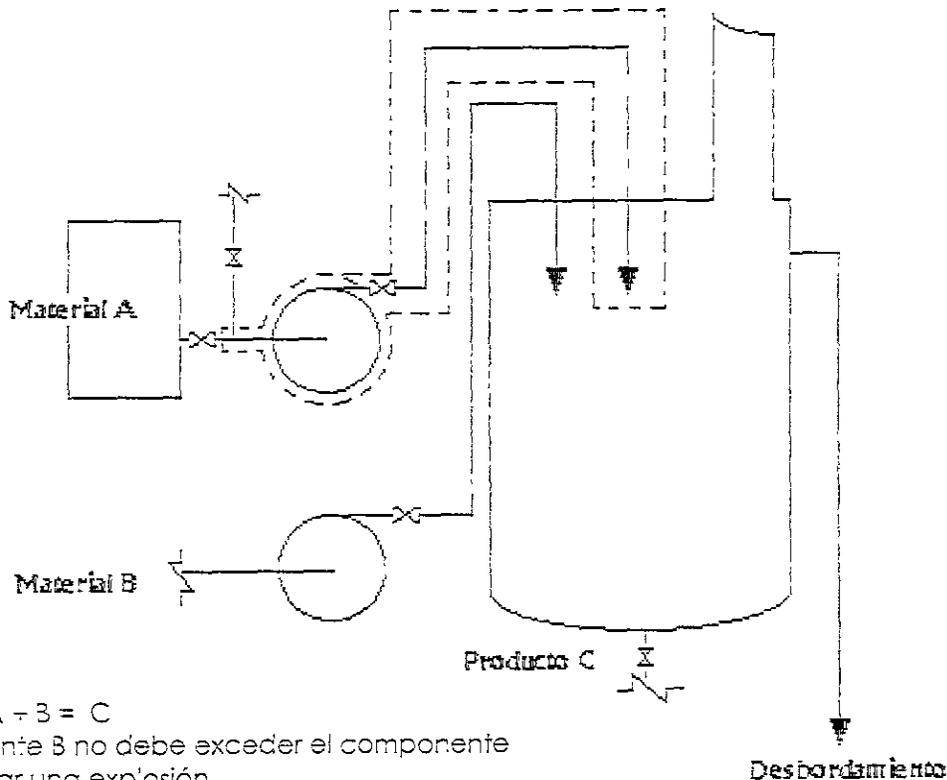
- Los resultados obtenidos son muy dependientes de la calidad del equipo.
- Es muy dependiente de la información disponible. Puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

Ejemplo

En la Figura IV.5.1, se tiene el diagrama de una planta en la que los productos químicos A y B reaccionan para formar un producto C. Se darán por supuesto que las reacciones químicas del proceso son tales que la concentración de materia bruta B nunca debe superarse a la A o de lo contrario se producirá una explosión. Ilustrar los principios del procedimiento HAZOP.

Con respecto a la Figura IV.5.1, se inicia, por ejemplo por la tubería que se extiende desde la succión de la bomba que alimenta a la materia prima A a donde penetra en el recipiente de presión.

La intención define de qué manera se espera que funcione la pieza. Esta puede adoptar varias formas y puede ser descriptiva o esquemática. En muchos casos consistirá en una gráfica de fases de fabricación o en un diagrama lineal. En este ejemplo, la intención se describe en parte por medio del diagrama del proceso de fabricación y en parte por las necesidades del proceso de control para transferir A a un ritmo determinado. La primera desviación es la que se produce al aplicar las palabras guía NO, o NO HACERLO a la intención. Esto se combina con la intención a indicar NO TRANSFERIR A. A continuación se examina el diagrama del proceso de fabricación para determinar las causas que podrían provocar una suspensión completa del flujo de A. Esas causas podrían ser:



Reacción: $A + B = C$

El componente B no debe exceder el componente A, para evitar una explosión,

La parte de la Planta examinada se indica con —

Figura IV.5.1. Ejemplo de un diagrama de fabricación.

- a) La cisterna de alimentación está vacía:
- b) La bomba no consigue girar debido a:
 - Una falla mecánica;
 - Una falla eléctrica;
 - Que no está conectada, etc.;
- c) Rotura de la tubería;
- d) Cierre de válvula de aislamiento;

Obviamente, por lo menos algunas de estas causas son concebibles, de modo que existe una desviación que tiene explicación.

A continuación se examinan las consecuencias. El cese total del flujo de A provocaría muy pronto un exceso de B sobre A en el recipiente de reacción y, en consecuencia, un riesgo de explosión. Por consiguiente, se ha descubierto un riesgo en el diseño, que se anota para examinarlo más a fondo.

La siguiente palabra guía que se ha de aplicar es MAS. La desviación consiste en que: HA PASADO MAS A AL RECIPIENTE DE REACCION.

La causa podría consistir en que las características de la bomba pueden producir en algunas circunstancias un ritmo de flujo excesivo. Si se acepta esta causa como realista, se examinan las consecuencias:

- a) La reacción produce C contaminando con un exceso de A que pasa a la etapa siguiente del proceso:
- b) El flujo excesivo que pasa al recipiente de reacción significa que una parte de él saldrá del recipiente por desbordamiento.

Habrá que obtener más información para decidir si esas consecuencias constituirían un riesgo.

De la misma manera, se aplicarán otras palabras guía hasta que se haya examinado la tubería que introduce la materia prima A. El examen avanza luego hacia la parte siguiente del diseño y se repite con respecto a cada parte de éste.

Capítulo V

Caso Estudio

V.1. Evaluación ambiental de una estación de servicio de gas L.P. ubicada en la delegación Iztapalapa

V.1.1. Descripción de la obra o actividad proyectada

Descripción general.

Nombre del proyecto.

Estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo (Autoabastio).

Naturaleza del proyecto.

Consiste en la implantación de una estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo para vehículos repartidores.

Las estaciones de suministro de gas carburante son los sistemas fijos o de tanques móviles, que mediante las instalaciones apropiadas, dispositivos de control y de seguridad se destinan exclusivamente a suministrar gas para su uso en motores de combustión interna.

La capacidad del tanque de almacenamiento de gas L.P. que se proyecta instalar es de 5,000 litros agua al 100 %.

El equipo, tuberías y accesorios cumplirán con las especificaciones de las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.

El diseño y construcción cumplirá con las especificaciones de la NOM-X-66-1992, publicada en el Diario Oficial de la Federación del 15 de julio de 1992, por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI).

Con esta estación de suministro se atenderá aproximadamente a 100 vehículos que corresponden al área de reparto

El cuadro V.1.1.1 proporciona una breve descripción de las principales características de los elementos del sistema.

En la figura V.1.1.1 se muestra el diagrama de flujo del sistema

Cuadro V.1.1.1
Características principales de los elementos del sistema

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS
Tanque de almacenamiento.	Capacidad: 5,000 litros agua al 100 % Tipo: intemperie, cilíndrico horizontal, con cabezas semiestéricas de acuerdo a la NOM-X-12-1986.
Tubería y accesorios.	Tubería rígida de acero al carbono, cédula 80, sin costura, roscaada. Accesorios: Válvula de corte manual, válvulas automáticas de relevo hidrostático, válvula automática de retorno de líquido.
Mecanismo de suministro.	Mecididor volumétrico.
Maquinaria.	Bomba blindada a prueba de chispa y explosión y vapores inflamables, con capacidad de 10 gal/min. Motor de 1 HP.
Base de sustentación del tanque.	Estructura metálica elevada a 2.50 m sobre el nivel de piso terminado.
Zona de seguridad.	Cercado del tanque con malla metálica tipo ciclón, de 2.40 m de altura. Muretes de concreto de 0.60 m de alto por 0.20 m de ancho y 1.0 m de largo. Desnivel adecuado para el desalojo de aguas pluviales.

Objetivos y justificación del proyecto.

Objetivo.

El objetivo del proyecto es la construcción y operación de una estación de suministro de gas carburante para vehículos repartidores de producto, en la Delegación Iztapalapa, Distrito Federal.

Justificación.

El Valle de México es una región particularmente sensible a la contaminación atmosférica debido a sus condiciones topográficas, climatológicas y de ubicación geográfica. Esta es desfavorable para la dispersión de los contaminantes, factor que motiva su acumulación en la atmósfera en altos niveles de concentración, originados por una gran densidad demográfica, vehicular e industrial. La Ciudad está ubicada a una altitud de 2,240 metros sobre el nivel del mar, lo que causa que los procesos de combustión sea menos eficientes y sea más intensa la emisión de contaminantes.

Las fuentes móviles, como los vehículos, constituyen la fuente más importante de emisión de gases y partículas suspendidas en el aire del Valle de México; a esta fuente corresponde al 75 % de la contaminación. Se estima que en los 1995 Kilómetros cuadrados de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se usan diariamente 660 toneladas de solventes y 51.8 millones de litros de combustible hidrocarbúrico.

El 15 de octubre de 1990 se inició el Plan General contra la Contaminación Atmosférica, el cual requiere la cooperación y el compromiso de todos los sectores de la sociedad. Una de las estrategias del Plan ha consistido en mejorar la calidad de los combustibles, incluyendo la introducción creciente de gas natural y licuado del petróleo en la industria y el transporte, con lo cual se han reducido los niveles de dióxido de azufre en la atmósfera de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

El empleo de gas L.P. como carburante en los vehículos de combustión interna tiene muchas ventajas, entre las cuales pueden mencionarse las siguientes:

- 1. Se quema totalmente sin producir residuos; es un combustible limpio y controlable.
- 2. Reduce o elimina los gastos de reparación que se originan con el carbón y azufre que se acumula en los motores cuando se usa gasolina.
- 3. Comparado con otros combustibles, el gas L.P. permite una combustión libre de olor y con un mínimo de corrosión.
- 4. Debido a que se quema en los cilindros en estado gaseoso, no diluye el aceite del cárter.
- 5. Bien carburado es muy seguro por producir mínimas cantidades de carbono en el escape.

Como parte del compromiso que tienen todos los sectores de la sociedad en el control de la contaminación atmosférica, la empresa solicitante, ha puesto en marcha un programa ambiental para el control de las emisiones contaminantes en su flota de vehículos repartidores de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. A continuación se describen las estrategias que integran el programa ambiental:

- 1. Introducción de vehículos eléctricos.

En las zonas con mayores problemas viales se han introducido vehículos eléctricos, con los cuales se logra un control total de las emisiones contaminantes, sin embargo no puede considerarse su utilización como único medio de reparto de productos debido al grado actual de desarrollo de estos vehículos, que presentan las siguientes limitaciones:

- 1) Son de corto alcance.
- 2) Sólo pueden usarse en zonas planas debido a que tienen potencia limitada.

Para la introducción de vehículos eléctricos, se han construido las subestaciones eléctricas necesarias para recargar las baterías de los vehículos. Dichas subestaciones eléctricas constituyen proyectos asociados indispensables para llevar a cabo el programa.

- 2. Conversión de vehículos de combustión interna al empleo de gas L.P. como carburante

Debido a las ventajas que tiene el empleo de gas L.P. como carburante en los vehículos de combustión interna para el control de las emisiones contaminantes, se hará la conversión correspondiente en los vehículos repartidores de la empresa, de manera paulatina y sucesiva.

Para llevar a cabo esta acción, como en el caso de los vehículos eléctricos, se requiere contar con la infraestructura necesaria, que en este caso son estaciones de suministro de gas carburante para uso exclusivo de la empresa, distribuidora estratégicamente en la Ciudad y de acuerdo a las normas y regulaciones sobre uso del suelo.

El contar con estaciones de suministro de gas propias, es indispensable para llevar a cabo esta estrategia debido a las siguientes razones:

1. No se tienen estaciones públicas de suministro de gas cercanos a los sitios de encierro de los vehículos de la empresa, por lo que se consumiría más combustible en los traslados efectuados sólo para abastecimiento.
2. Como consecuencia de la consideración anterior, se emplearía más horas – hombre y horas – vehículo en una actividad no productiva.
3. Debido a los traslados a estaciones públicas de suministro de gas se produciría mayor desgaste de los vehículos.
4. Se evitarían los problemas de tránsito en las vías de comunicación con las estaciones públicas de suministro disponibles.
5. Debido a que todavía no se cuenta en la Ciudad con un sistema de distribución de gas carburante bien establecido, se desea evitar la dependencia en el suministro de gas en las condiciones actuales de manera que no se tengan interrupciones en la distribución de los productos de la empresa, la cual tiene actualmente altos niveles de eficiencia y continuidad en el reparto de sus productos.

El proyecto de Estación de Servicio de Gas L.P. se refiere a la construcción y operación de una de las estaciones de suministro de gas carburante que se requieren para llevar a cabo la segunda estrategia del programa ambiental para el control de las emisiones contaminantes en la flota de vehículos repartidores de la empresa solicitante. Dicha estación se ubicará en la Delegación Iztapalapa, Distrito Federal; donde se tiene una bodega de producto y el encierro de vehículos repartidores propiedad de la empresa. Con esta estación se atenderá aproximadamente a 100 vehículos que corresponden al área de reparto en la Delegación Iztapalapa.

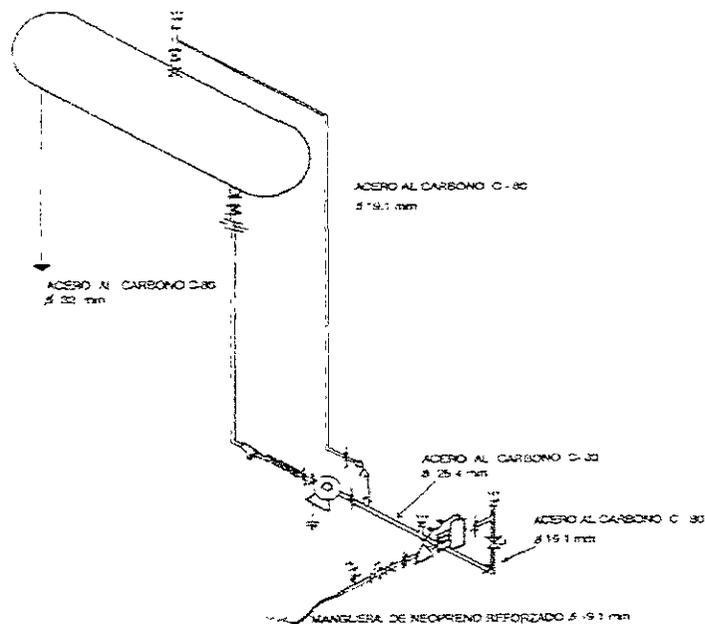


Figura V.1.1.1 Diagrama de flujo del proyecto para la estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo.

Programa de Trabajo

El cuadro V.1.1.2 se muestra el programa general de trabajo del proyecto de la estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo.

Proyectos asociados

Como proyecto asociado se tiene el de la conversión a gas L.P. como carburante en los motores de combustión interna de los vehículos repartidores propiedad de la empresa,

Políticas de crecimiento futuro

En el sitio del proyecto no se tendrán ampliaciones a la capacidad de almacenamiento propuesta, habiéndose considerado un tanque de 5,000 litros de capacidad. De hecho, los requerimientos operativos indican que sería más conveniente contar con capacidad de almacenamiento de 10,000 litros; sin embargo, se optó por reducir la capacidad de almacenamiento con el fin de reducir el impacto potencial de una posible contingencia.

Cuadro V.1.1.2
Programa general de trabajo del proyecto de la estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo.

ACTIVIDAD	SEMANAS												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
PLANEACION Y DISEÑO	■	■	■	■									
TRAMITACION DE AUTORIZACIONES													
CONSTRUCCION													
INICIO DE OPERACIÓN													

Nota: Las fechas de inicio de construcción y operación son tentativas pues están supeditadas al tiempo variable que emplean las dependencias gubernamentales para otorgar las autorizaciones correspondientes.

Etapas de selección del sitio

Ubicación física del proyecto

El predio del proyecto se localiza en la calle Sabad No. 10, Ex – Hacienda Xalpameca, Delegación Iztapalapa, Distrito Federal. La estación de gas L.P. se ubicará dentro del predio rentado por la empresa, con acceso por la calle Sabad.

La figura V.1.1.2 muestra un croquis con la ubicación física del predio en donde se encuentran las instalaciones de la empresa.

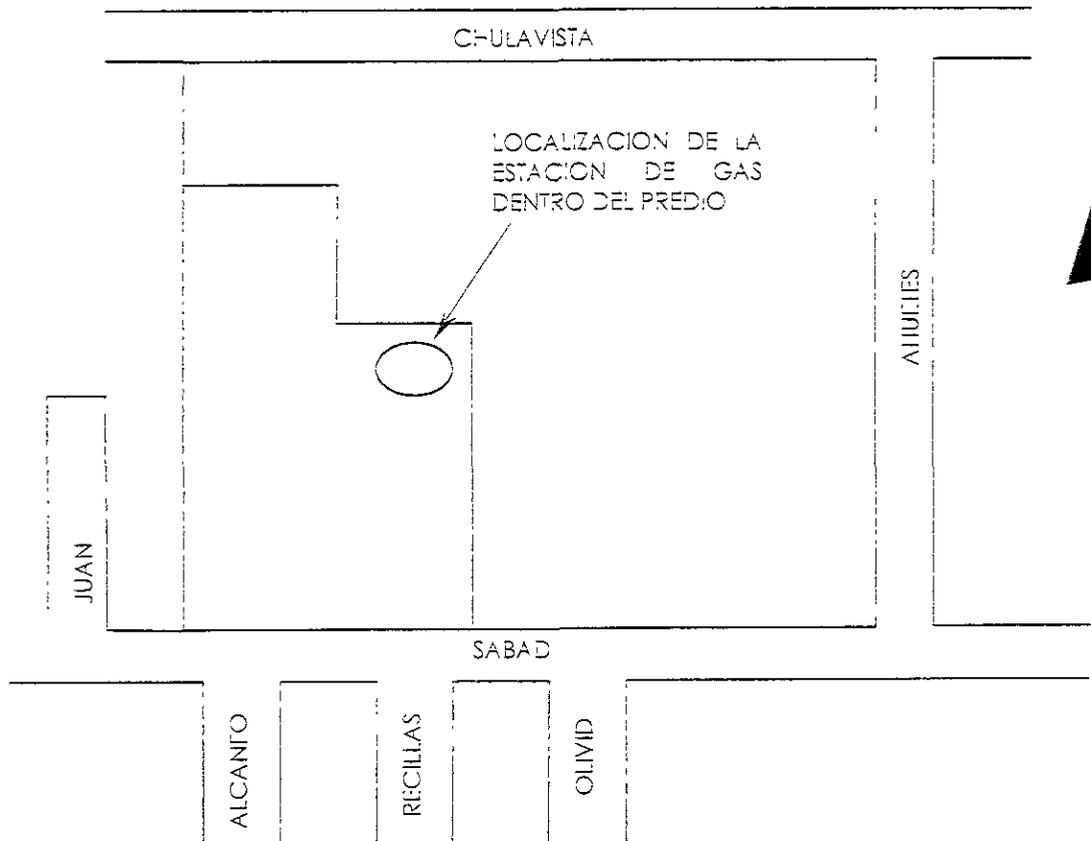


Figura V.1.1.2 Croquis de localización del sitio propuesto.

Urbanización del área

Las características que presenta la zona en donde se desarrollará el proyecto son eminentemente urbanas. Las calles se encuentran pavimentadas con cemento asfáltico y se cuenta con los servicios de agua potable, alcantarillado, energía eléctrica, alumbrado público y teléfono.

Criterios de selección del sitio

Criterios considerados

Para determinar los sitios más convenientes para el establecimiento de las estaciones de suministro de gas carburante que requiera la empresa, deben considerarse primero las condiciones operativas desde el punto de vista logístico para el reparto de productos; luego de los sitios seleccionados como posibles, deben analizarse las características de los predios en cuanto a su urbanización y condiciones de seguridad de la gente y propiedades y finalmente, analizar las coincidencias de la ubicación propuesta para la estación de suministro en los predios con respecto a riesgos probables. Para el análisis se consideran las normas y regulaciones sobre el uso del suelo y el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas relativas al almacenamiento y manejo de gas L.P.

Urbanización del Área



Calle Juan



Calle Solís

Urbanización del Área



Calle Sabad



Calle Ahuetes

Urbanización del Área



Calle Chulavista

De acuerdo a lo anterior, los criterios de selección se enlistan a continuación:

1. Son sitios potenciales para el establecimiento de estaciones de suministro de gas L.P. propiedad de la empresa aquellos que:
 - 1.1. Sean o se encuentren cercanos a un lugar de encierro de vehículos de reparto.
 - 1.2. Sean o se encuentren cercanos a un lugar de almacenamiento de producto (bodegas).
 - 1.3. En ambos casos (1.1 y 1.2.), solamente que no existan riesgos a la población, en función de los usos de suelo autorizados en la zona; esto es, deben descartarse los sitios ubicados en zonas residenciales y lugares densamente poblados o construidos. Las distancias mínimas del tanque de almacenamiento con respecto a escuelas, iglesias y salas de espectáculos deben ser de 100 m.

2. De los sitios analizados que cumplan con las condiciones 1.1 a 1.3, los predios donde se construirán y operarán las estaciones de suministro deben reunir las siguientes condiciones:
 - 2.1. Acceso consolidado que permita el tránsito seguro de los autotanques.
 - 2.2. Topografía conveniente para el desalojo de aguas pluviales.
 - 2.3. No deberán haber líneas de alta tensión que crucen el predio, ya sean aéreas o subterráneas.
 - 2.4. No deberá estar el predio en zonas susceptibles de deslaves.
 - 2.5. No deberá estar el predio en partes bajas de lomeríos.
 - 2.6. El emplazamiento posible para la estación de suministro en el predio no deberá estar a la orilla de una carretera.

3. Con respecto a colindancias, deberá cumplirse la siguiente condición:
 - 3.1. Los predios colindantes y sus construcciones deberán estar libres de riesgos probables para la seguridad de la estación.

El cuadro V.1.1.3 muestra el análisis del sitio seleccionado con respecto a los criterios considerados, observándose que cumple satisfactoriamente con todas las condicionantes.

Cuadro V.1.1.3
Análisis del sitio del proyecto con respecto a los criterios de selección.

1. El sitio:		SI	NO	OBSERVACIONES
1.1.	¿Es o se encuentra cercano a un lugar de encierro de unidades repartidoras?			Se guardan los vehículos de reparto de la zona (Iztapalapa).
1.2.	¿Es o se encuentra cercano a un lugar de almacenamiento de producto terminado?			Se tiene bodegas de la empresa en el sitio, y allí se cargan los vehículos de reparto.
1.	¿Causa riesgo a la población en función del uso de suelo autorizado en la zona?			El uso de suelo es IV-1 (industria vecina con intensidad baja).
2. El predio:				
2.1.	¿Tiene acceso consolidado y suficientemente amplio (mínimo 6 m) para el tránsito seguro de los autotanques*?			La calle está pavimentada y dentro del predio el acceso al lugar propuesto para la estación tiene piso firme de adoquín. El ancho del acceso es de 6,50 m.
2.2.	¿Tiene pendiente adecuada para el drenaje de las aguas pluviales?			El predio se encuentra en la parte alta de un cerro, por lo que no tiene problemas de drenaje pluvial.
2.3.	¿Es atravesado por líneas de alta tensión aéreas o subterráneas?			
2.4.	¿Está en una zona susceptible de deslaves?			
2.5.	¿Está en una parte baja de lomeríos?			Está en la parte alta de un cerro.
2.6.	¿El tanque de almacenamiento quedará a la orilla de una carretera?			
3 Colindancias:				
3.1.	¿Existen riesgos probables para la seguridad de la estación de suministro?			Las colindancias y sus construcciones están libres de riesgos. No existen hornos, aparatos que usen fuego o talleres que produzcan chispas.

*Autotanques son los vehículos con tanque de almacenamiento que se utilizan para la distribución de gas a instalaciones fijas en casas habitación, comercios e industrias.

Estudios realizados para la selección del sitio.

No se efectuaron estudios para la selección del sitio; únicamente se analizaron los criterios del programa de trabajo y su cumplimiento con respecto a la normatividad vigente.

Superficie requerida.

La superficie disponible en el predio para llevar a cabo el proyecto debe ser suficiente para construir la base de sustentación del tanque, contar con una zona de protección de acuerdo a normas y una zona para carga de gas a los vehículos:

Área para construcción de base de sustentación, Incluyendo zona de protección:	45.39 m ²
Zona de carga (sólo un vehículo a la vez):	6.00 m ²
Área total requerida (8m x 6.4 m):	51.39 m ²

Uso actual del suelo.

El predio en donde se desarrollará el proyecto es arrendado por la empresa y se utiliza como estacionamiento de los vehículos de reparto de productos. En el mismo sitio se localiza una bodega de esta empresa, por lo que una vez cargados los vehículos de reparto salen a hacer la distribución.

Colindancias del predio.

El área destinada para la construcción de la estación de suministro de gas L.P. dentro del predio en donde se encuentran las instalaciones de la empresa, colinda al Norte con una barda de 3.50 m de altura que limita al predio con un terreno propiedad de la empresa Concretos S.A., actualmente con sólo una construcción cisada en dicho predio, a más de 30 m de distancia del centro de gravedad del tanque de almacenamiento, donde se realizan actividades de lavandería; al Sur con el acceso al predio en la calle Sabad; al Este con las bodegas de esta empresa, localizadas a 43 m del tanque y al Oeste con un terreno baldío que tiene algunas construcciones improvisadas construidas por "paracaidistas". La figura V.1.1.2 muestra las colindancias del predio del proyecto.

Situación legal del predio.

El sitio propuesto para la construcción de la estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo es arrendado por la empresa.

Vías de acceso al área donde se desarrollará la obra.

Las principales vías de acceso al predio del proyecto son dos: por el Norte, calzada Ermita Iztapalapa, por el Sur, avenida Tláhuac.

Sitios alternativos para el desarrollo de la obra.

No se tienen sitios alternativos para llevar a cabo el proyecto, ya que debido a los requerimientos operativos, al efectuar la conversión de los vehículos repartidores al uso de gas L.P. como carburante, el suministro de combustible a los vehículos se pretende hacerlo en el sitio de su encierro para evitar traslados innecesarios que provocarían pérdidas de tiempo y un mayor consumo de combustible. El sitio elegido para llevar a cabo el proyecto se propuso en función de los criterios considerados.

Etapa de preparación del sitio y construcción.

Programa de trabajo.

El programa de trabajo en la etapa de preparación del sitio y construcción se muestra en la
 Cuadro V.1.1.4

Cuadro V.1.1.4
 Programa de trabajo en la etapa de preparación
 del sitio y construcción

ACTIVIDAD	SEMANAS			
	1	2	3	4
Construcción de la base de sustentación del tanque de almacenamiento.				
Colocación del tanque e instalación de tuberías, accesorios, mangueras y maquinaria.				
Acondicionamiento de la zona de seguridad.				

Preparación del terreno y construcción.

Recursos que serán alterados.

En la etapa de preparación del sitio y construcción de la estación de servicio de gas L.P. se
 llevará a cabo las siguientes actividades:

-) Construcción de la base de sustentación del tanque de almacenamiento.
-) Colocación del tanque e instalación de tuberías, accesorios, mangueras y maquinaria.
-) Acondicionamiento de la zona de seguridad.

A continuación se presenta una breve descripción de las actividades mencionadas:

-) Construcción de la base de sustentación del tanque de almacenamiento

El diseño de la base de sustentación del tanque de almacenamiento se ajusta a las
 especificaciones del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. La construcción de esta
 estructura comprende las siguientes obras:

Cimentación de la base de sustentación.

Se excavará el suelo en los cuatro puntos definidos para la construcción de las zapatas de
 cimentación de la estructura metálica que soportará el tanque. Las excavaciones se efectuarán con
 pico y pala, y tiene la finalidad de obtener los niveles deseados para la construcción de cuatro
 zapatas de concreto armado (dados) de 0.50 m de lado y 0.40 m de profundidad. Las zapatas
 tendrán una separación medida a ejes de 4.90 m en el sentido longitudinal de la estructura y de
 2.00 m en el sitio transversal fig. V.1.1.3

Construcción de la estructura metálica.

El tanque de almacenamiento de gas L.P. quedará sustentado en una estructura de hierro laminado, formada por dos marcos, separados entre sí, según los apoyos del tanque. La altura de la base de sustentación será de 2.50 m con respecto al nivel de piso terminado.

Cada marco está formado por trabe y columna. El tanque se apoyará en viguetas de acero, las que a su vez se apoyarán en los marcos. La base de sustentación recibirá al tanque de tal forma que la carga se reparta uniformemente.

Para mayor rigidez, la estructura será reforzada con tirantes, como se muestra en la figura V.1.1.3

Los elementos de que se compone cada marco serán a base de vigas de acero laminado, tipo "I" de 152.4 mm (6"), con las siguientes características:

Percalte	15.24 cm
Peso	18.60 kg/m
Superficie	23.29 cm ²
Ancho de patín	8.46 cm
Espesor del alma	0.58 cm
Momento de Inercia	906.8 cm ⁴
Radio de giro	6.25 cm
Módulo de sección	119.0 cm ³

b) Colocación del tanque e instalación de tuberías, accesorios, mangueras y maquinaria.

Colocación del tanque.

El tanque de almacenamiento se colocará sobre la base de sustentación en la parte de la placa de refuerzo o soporte que exige la norma de fabricación. La colocación del tanque sobre la base permitirá movimientos de expansión y contracción.

Si antes o durante la maniobra de instalación se le causara al tanque algún daño que pudiera afectar su integridad, se efectuarán pruebas para comprobar o verificar su resistencia, bajo inspección y supervisión de técnicos especializados en la materia emitiéndose el dictamen correspondiente.

Sistema de tubería.

El sistema quedará integrado en su totalidad con tuberías instaladas firmemente, excepto en donde exista necesidad de absorber esfuerzos o vibraciones.

La tubería será rígida de acero al carbono, Cédula 80, sin costura, roscada, para una presión de 13.72 Mpa (140.6 kg/cm²). El empaque de las uniones roscadas se hará con un sellador que no sea afectado por el gas L.P.

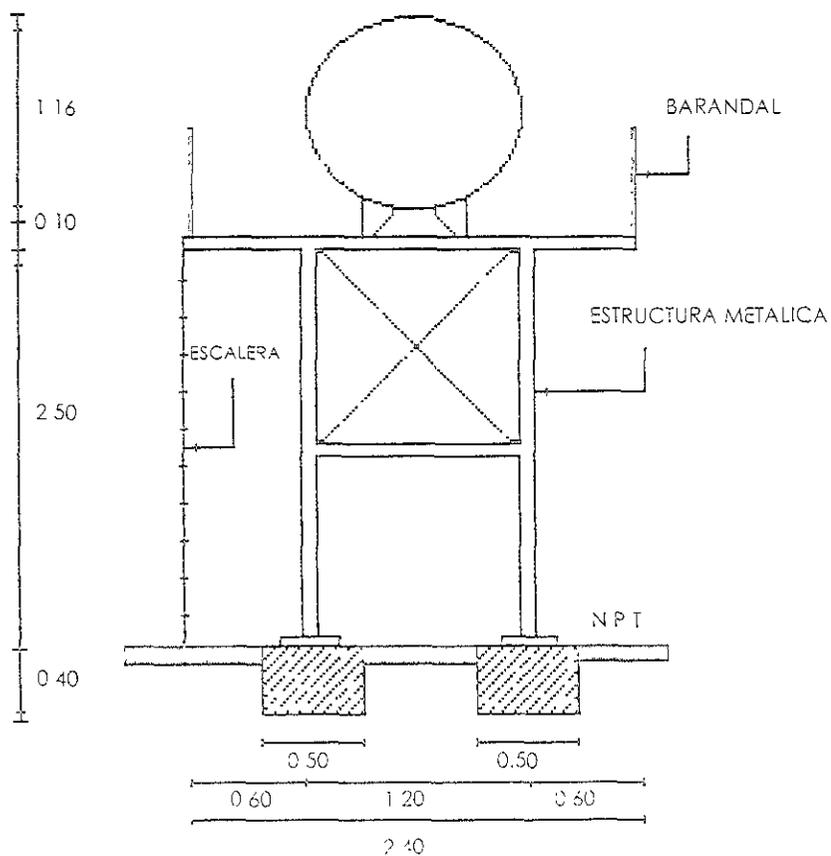
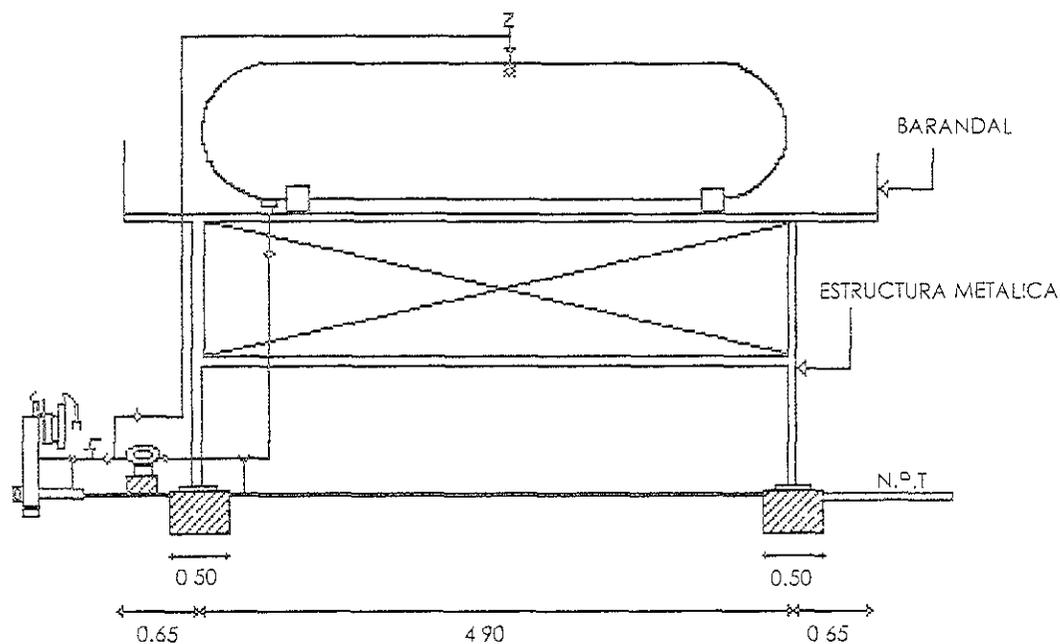


Figura V 1.1.3 Detalle de la base de sustentación del tanque.

El soporte de la tubería se hará por muretes de concreto o soportes metálicos. En la parte que tenga contacto con los soportes, la tubería se protegerá contra la corrosión.

No se instalarán tuberías subterráneas.

Una vez instalada, la tubería se probará neumáticamente a una presión de 1.175 Mpa (12.0 kg/cm²), durante 30 minutos.

El sistema de tuberías se ha proyectado de tal forma que pueda efectuarse su mantenimiento con el fin de evitar fugas.

Accesorios.

Se instalarán los siguientes accesorios:

Válvulas de corte manual, localizadas en lugar conveniente, según la operación que se lleve a cabo. Se colocarán después de una válvula de exceso de gasto, para una presión de 2.85 Mpa (28.0 kg/cm²).

Válvulas automáticas de relevo hidrostático, localizadas en tuberías de líquido, entre dos válvulas de corte manual, calibradas para apertura a 2.81 Mpa (28.8 kg/cm²), protegidas de la intemperie con capuchón.

Válvula automática de retorno líquido (by-pass), para retornar el gas líquido de la bomba hacia el tanque de almacenamiento. La válvula está calibrada para apertura a 3.87 Mpa (39.6 kg/cm²).

Medidor de suministro.

Para medir la salida de gas líquido se tendrá un medidor volumétrico.

El medidor quedará dentro de la zona de protección del tanque para evitar que sea dañado y contará con cobertizo de protección fijo y con ventilación adecuada.

Se fijará por medio de una placa metálica ahogada en el murete de concreto (fig. V.1.1.4).

Antes del medidor se instalará una válvula de cierre manual y después de la válvula diferencial una válvula de relevo de presión.

Mangueras.

Las mangueras y sus conexiones o conectores que se instalen cumplirán con las especificaciones que establece la Norma NOM-X-29 en vigor.

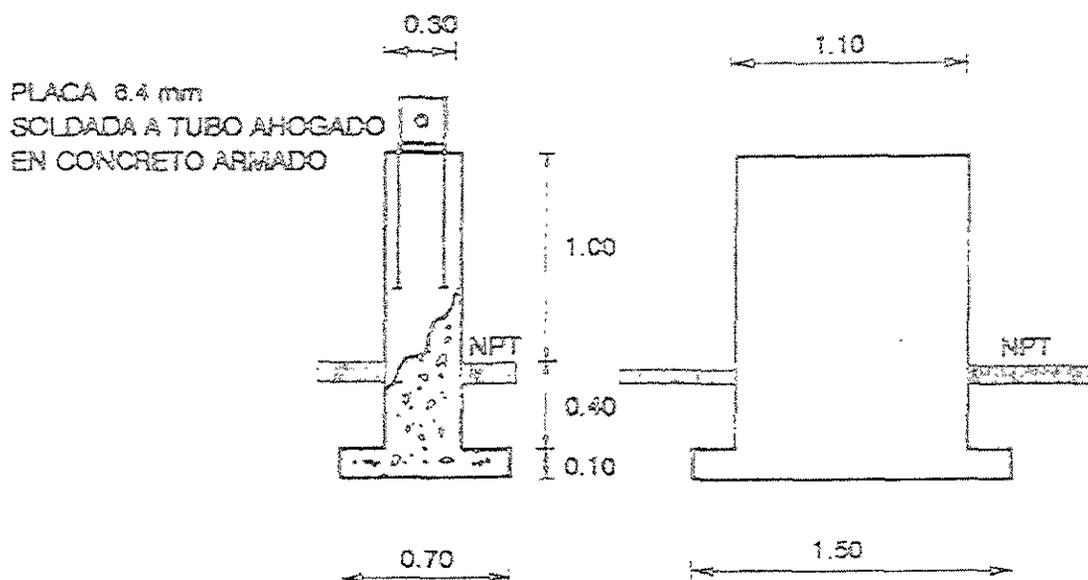


Figura V.1.1.4. Detalle del murete para soportar medidor y toma de suministro.

Maquinaria.

Para el trasiego de gas L.P. líquido se instalará una bomba blindada a prueba de chispa y explosión, y vapores inflamables.

La bomba se conectará a la tubería de succión por medio de un conector flexible a base de neopreno con doble malla de acero, para una presión de ruptura de 13.78 Mpa (140.9 kg/cm²).

La capacidad de la bomba será de 37.85 l/min (10 gpm), adecuada para suministrar el gas a los recipientes montados en los vehículos.

La bomba será instalada sobre una base de concreto con placa metálica, al nivel de piso terminado y conectada a tierra mediante un cable de cobre unido a una varilla del mismo material. Para proteger a la bomba del intemperismo se instalará un cobertizo removible, como lo muestra la figura V.1.1.5.

La bomba se localizará dentro de la zona de seguridad del tanque estacionario, por lo que no estará expuesta a daños ocasionados por personas o vehículos.

Toma de recepción y suministro

Recepción

El llenado del tanque de almacenamiento se hará directamente del auto tanque propiedad de la empresa distribuidora (Gas vehículos SILZA S.A. de C.V.), por lo que no se contará con toma de recepción

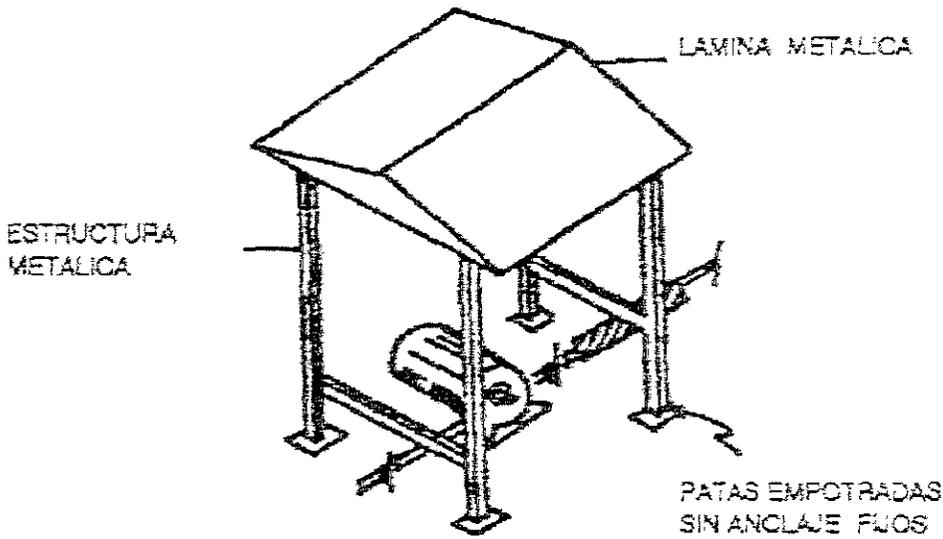


Figura V.1.1.5. Cobertizo removible para protección de la bomba.

Suministro

El suministro de gas L.P. a los recipientes montados en los vehículos propiedad de la empresa, se hará por una toma. Esta toma estará firmemente sujeta a marco metálico o de concreto antes de la conexión de la manguera y se localizará dentro de la zona de protección del tanque.

La toma tendrá los siguientes componentes: una válvula de exceso de flujo, una válvula de corte manual, una válvula de relevo hidrostático, punto de fractura, conexión para la manguera, tramo de manguera, una válvula de cierre rápido, manual y acoplador.

Entre dos válvulas de acción manual, se tendrá una válvula de relevo hidrostático.

La manguera apropiada para el manejo del gas L.P. es de neopreno con doble malla de acero, resistente a la flama y al gas L.P., para una presión de ruptura de 13.78 Mpa (140.9 kg/cm²). Para evitar dobleces bruscos y maltratos se tendrá un "trín" o un gancho cuando no esté en uso para enrollarse o colgarse según sea el caso.

Para eliminar la carga estática de los vehículos, se tendrán pinzas o caimanes para conectores a tierra.

c) Acondicionamiento de la zona de seguridad.

La estación de suministro de gas L.P. se ubicará dentro del predio ocupado por la empresa, el cual cuenta con un acceso de 6.50 m de ancho, por la calle Sabad.

Las colindancias y sus construcciones están libres de riesgo, es decir no existen hornos, aparatos que utilicen fuego o talleres que produzcan chispas.

El acceso es de piso de concreto, con nivelación superficial para permitir el tránsito seguro de vehículos y con pendiente de 6% para el desalojo de aguas pluviales.

En el área de proyecto no existen líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión, subterráneas o aéreas; el terreno es firme, nivelado y no hay deslaves.

La estación no está ubicada al margen de alguna carretera y no se dará servicio al público.

El área para construcción de la base de sustentación del tanque incluyendo la zona de seguridad es de 45.39 m². Estará cercada con malla metálica tipo ciclón de 2.40 m de altura para impedir el acceso al tanque a personas no autorizadas. Adicionalmente se construirán muretes de concreto reforzado de 0.60 m de alto, 0.20 m de ancho y 1.00 m de largo con separación de 1 m entre sí, con la finalidad de proteger a la base de sustentación de los vehículos (Figura V.1.1.6 y V.1.1.7). Contará con pendiente para el desalojo de aguas pluviales (6%) y el piso será de losas de concreto.

Distancias mínimas

En este punto se especifican las distancias que existirán desde el tanque de abastecimiento hacia sus colindancias:

) Lindero (norte)	2.00 m
) Zona de seguridad (sur):	1.50 m
) Edificios (estacionamiento) (sur y suroeste):	30.00 m
) Tablero general de energía eléctrica (norte):	67.00 m
) Almacenes (suroeste):	15.00 m

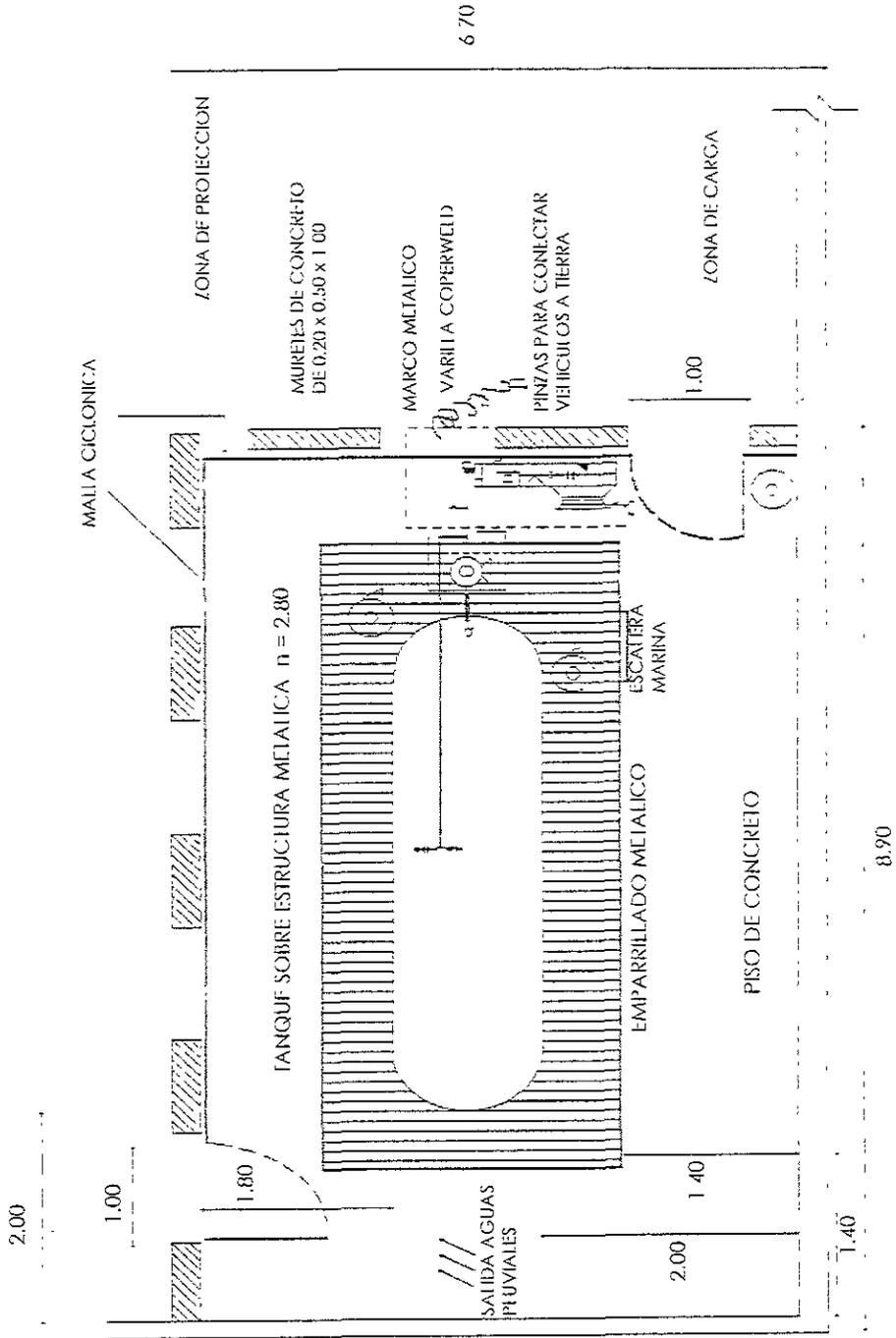


Figura V.1.1.6

Planta de instalaciones donde se observan las características de la zona de protección.

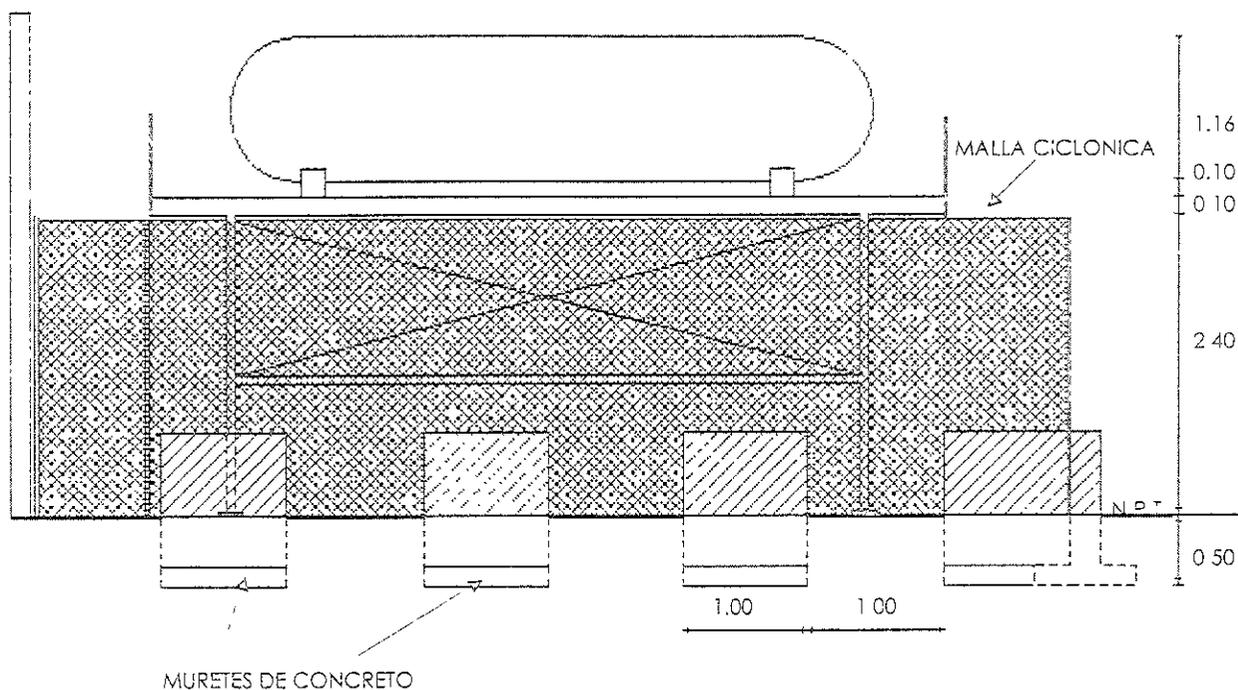


Figura V.1.1.7 Detalles de la zona de protección de la estación de suministro de gas L.P.

Medidas de seguridad

Se contará con extinguidores Tipo ABC de 9.0 kg en tanque de almacenamiento, en cada bomba y en cada toma de suministro.

Se colocarán a una altura 1.20 m del piso, sujetándolos de tal manera que puedan descolgarse fácilmente al ser usados; estarán en lugares visibles y de fácil acceso sin obstáculos. La distancia entre uno y otro extinguidor será de 5 m. El lugar de localización tendrá una señalización de color rojo. Se efectuará una inspección de mantenimiento periódico para su buen funcionamiento.

Sistema eléctrico

Toda la instalación eléctrica en un radio de 15.0 m del tanque de almacenamiento y zona de riesgo será a prueba de explosión, chispas y vapores inflamables, cumpliendo con NEMA 7, Clase I, Grupo D.

Se tendrá iluminación en la zona de almacenamiento y en las tomas de suministro.

Los cables que conducirán energía eléctrica se introducirán en tubería conduit galvanizada, la pared gruesa roscaada, de diámetro adecuado, soportada, señalada y visible

Para accionar cada bomba, se contará con un motor eléctrico a prueba de chispa, explosión y vapores inflamables, blindado, monofásico y con potencia de 1.0 HP. En las conexiones de los motores y estaciones de botones se usarán sellos y conduletes a prueba de explosión.

El reflector para la zona de almacenamiento se localizará a 15.0 m de tanque de almacenamiento. El interruptor general, se localizará en zona de fácil acceso para cortar la corriente eléctrica en caso de emergencia.

Rótulos de prevención, pintura y colores distintivos

- 1) Rótulos de prevención: Los rótulos de prevención se distribuirán en forma conveniente y visible; se colocarán en zonas de almacenamiento, tomas de suministro y accesos, los rótulos tendrán leyendas como:

"PELIGRO NO FUMAR"
"APAGUE EL MOTOR ANTES DE CARGAR GAS"
"GAS L.P. INFLAMABLE"
"NO CARGUE GAS CON PERSONAS A BORDO"
"PROHIBIDO EL PASO A PERSONAS AJENAS"

Se tendrá un tablero con instrucciones para la operación de suministro así como una tabla de colores distintivos.

Se impartirán cursos de capacitación para el personal encargado de la estación de gas L.P., así como a los conductores de los vehículos.

- 2) Pintura y colores distintivos.

a) El cuerpo del tanque de almacenamiento de gas L.P. será de color blanco mate, con un círculo rojo en cada uno de los casquetes con un diámetro de la tercera parte del diámetro del tanque.

- b) Tuberías:

Rojo	gas líquido
Amarillo	gas L.P. en estado de vapor
Verde	retorno de gas líquido al tanque de almacenamiento.
Blanco	aire
Azul	agua
Negro	tubería que conduzca cables de energía eléctrica.

- c) Pintura en topes, postes y protecciones

Los topes, postes y protecciones de la zona del tanque de almacenamiento, se pintarán con franjas diagonales de color amarillo y negro.

Otras

- a) Las bombas se protegerán con cobertizos de material incombustible, movable y con amplia y natural ventilación.
- b) La empresa capacitará a su personal, tanto para la operación como para casos de emergencia.

Equipo utilizado.

Durante la etapa de preparación del sitio y construcción de la estación de servicio de gas L.P. se utilizará para la cimentación principalmente herramientas de albañilería; para la construcción de la estructura metálica que constituirá la base de sustentación del tanque se utilizarán soldadoras eléctricas; para la colocación del tanque sobre su base de sustentación se requerirá de una grúa con capacidad de 1.5 toneladas; en la instalación de tuberías y accesorios se empleará una terraja de banco y herramientas convencionales de instalador de gas. El equipo más grande que se empleará en la etapa de construcción así como el tiempo de ocupación se muestra en el cuadro V.1.1.5

Cuadro V.1.1.5
Equipo requerido, cantidad y tiempo de ocupación

EQUIPO	CANTIDAD	TIEMPO DE OCUPACION (DIAS)
Soldadores eléctricos	2	5
Revolvedora (trompo)	1	3
Vibradores de concreto	1	3
Grúa	1	1

Materiales.

Se requerirá grava, arena, cemento y acero de refuerzo para la construcción de las zapatas de cimentación y los muretes de protección; vigas de acero laminado, tipo "I" de 152.4 m (6") para la construcción de la estructura metálica; tubos de acero al carbono, Cédula 80, sin costura, roscada, de los siguientes diámetros: 19.1 mm, 25.4 mm y 32 mm; y válvulas y accesorios diversos para instalaciones eléctricas y de gas.

Obras y servicios de apoyo.

Debido a la magnitud de la obra, no se requerirá de obras de apoyo, tales como campamentos, oficinas, almacenes, etc.

Personal utilizado.

En el cuadro V.1.1.6 se presenta una estimación por especialidad, cantidad y tiempo de ocupación del personal que se requiere para realizar las actividades propuestas.

Cuadro V.1.1.6
 Personal requerido en la etapa de preparación
 del sitio y construcción

Nº	ACTIVIDAD	NIVEL	CANTIDAD	TIEMPO DE OCUPACION (DIAS)
1	Construcción de la base de sustentación del tanque de almacenamiento.	Ingeniería (residente)	1	6
		Oficialía de albañilería	1	6
		Peones	2	6
		Soldadores (técnicos especializados)	2	6
2	Colocación del tanque e instalación de tuberías, accesorios, mangueras y maquinaria.	Ingeniería (residente)	1	18
		Técnicos de instalación de gas especializados	2	18
		Peones	2	18
3	Acondicionamiento de la zona de seguridad.	Ingeniería (residente)	1	18
		Técnicos de instalación de gas especializados	2	18
		Peones	2	18

Requerimientos de energía.

Electricidad.

Se requerirá de energía a 220 volts para alimentar a 2 soldadoras de 300 amperes, la cual será tomada del tablero instalado en la empresa para el suministro de energía eléctrica por parte de la Compañía de Luz y Fuerza del Centro.

Combustible.

Se requiere gasolina nova para hacer funcionar una revoladora de un saco y un vibrador de concreto con motor de gasolina. No se almacenará combustible en la obra; sólo se dispondrá del necesario para la actividad diaria, sólo durante el tiempo de uso de la revoladora que es de 3 días.

Requerimientos de agua.

No se empleará agua cruda en la obra; se utilizará aproximadamente un total de 3 m³ de agua potable para la elaboración del concreto, la cual será abastecida de la toma domiciliaria instalada en la empresa.

Residuos generados.

Residuos de la construcción.

Debido a la magnitud y tipo de la obra (estructura metálica), no se prevé la generación de escombros en gran cantidad. La excavación para la construcción de las cuatro zapatas generará aproximadamente 0.40 m³ de tierra y los muretes de protección 1 m³, por lo que considerando otros desperdicios se tendrá un total de aproximadamente 2 m³ de escombros, los cuales se transportarán a algún lugar de tiro autorizado por las autoridades del Departamento del Distrito Federal.

Los desechos sólidos generados por los obreros (aproximadamente 40 kg/obrero/día) serán dispuestos en los depósitos de basura de la empresa.

Desmantelamiento de la infraestructura de apoyo.

Como se ha mencionado, no se tendrán obras provisionales para la construcción de la estación de servicio de gas L.P.

Etapa de operación y mantenimiento.

La operación de la estación de servicio de gas L.P. se compone de dos conjuntos de actividades que pueden ser perfectamente divididas:

- 1. Suministro de gas al tanque de almacenamiento, y
- 2. Llenado de los recipientes montados en los vehículos con carburación a gas, propiedad de la empresa.

Los dos conjuntos de actividades se describen a continuación:

Suministro de gas al tanque de almacenamiento, y

Se contratarán los servicios de una empresa distribuidora de gas L.P. autorizada para venta de gas carburante (Gas Vehicular Silza, S.A. de C.V.). El autotanque propiedad de la empresa distribuidora deberá contar con una tripulación mínima de dos personas, las cuales deberán efectuar los siguientes preparativos para el llenado del tanque:

- 1. Estacionar correctamente el autotanque en el sitio dispuesto para ello (zona de carga).
- 2. Aplicar el freno de mano y colocar cuñas en las llantas.
- 3. Colocar el letrero de "PRECAUCION, SURTIENDO GAS".
- 4. Calcular el tramo de manguera que será necesario utilizar y desenrollar del carrete junto al autotanque.
- 5. Revisión previa al llenado, de los accesorios de control y seguridad, así como un recordo a la instalación en visible después del regulador cerca del tanque de almacenamiento.

Por lo que corresponde a la forma de llenar el recipiente, se tendrá el tipo de llenado directo con manguera del autotanque.

La primera vez que sea llenado el tanque, debe purgarse por la válvula de servicio la presión de aire contenida en él; si no se hiciera esta operación, llegaría un momento en que no podría seguir llenándose el tanque, ya que la presión en su interior aumentaría considerablemente. El operador deberá tener cuidado de que al purgar el tanque saiga aire y no gas L.P., ya que cuando se perciba el olor a gas debe cerrarse la válvula de servicio.

El operador quitará el tapón de plástico de la válvula de llenado del tanque y revisará que no tenga basura acumulada y esté en condiciones adecuadas el empaque.

Se oprimirá con el dedo el check. Si no cede o lo hace dejando escapar presión con fuerza, colocará el adaptador de seguridad y enseguida el adaptador de la manguera. Una vez que el adaptador esté bien apretado, se abrirá la válvula de la manguera.

El operador del autotanque debe abrir la válvula de cierre rápido a la salida del recipiente del autotanque.

Se deberá observar anticipadamente el porcentaje de gas que tiene el tanque al llenar, calculando de acuerdo a la capacidad del mismo, la cantidad aproximada que podrá caberle, tomando en cuenta que el llenado máximo deberá ser del 85 %.

El operador cercano al tanque abrirá la válvula de llenado máximo (85 %) que se encuentra en la válvula de servicio y avisará al chofer para que inicie el bombeo, quien deberá hacerlo de la siguiente forma:

1. Abrir la válvula de salida del tanque (del autotanque) por medio del control correspondiente.
2. Poner a trabajar la bomba por medio del control remoto.
3. Acelerar gradualmente hasta fijar el control remoto en las revoluciones a que debe trabajar la bomba.
4. Teniendo en mente la capacidad del tanque por llenar, calcular el litraje máximo por surtir, permaneciendo cerca del medidor, durante el llenado.

Si el tanque tiene medidor de flotador, el ayudante vigilará su manecilla y abrirá intermitentemente la válvula de máximo llenado.

Cuando la válvula de máximo llenado, o el indicador del nivel magnético marque 85 %, el operador cercano al tanque avisará al chofer mediante un silbido o alguna otra señal, para que interrumpa el bombeo y cierre la válvula de corte de la manguera.

El chofer, al recibir la señal de su compañero, o bien al escuchar el cambio de ruido en la bomba por el cierre de la válvula de corte de la manguera, deberá suspender el bombeo en la siguiente forma:

Desacelerar por completo;

Por medio del control remoto desconectar la bomba; y

Cerrar la válvula de cierre rápido del tanque (del autotanque).

Durante toda la maniobra de llenado, el operador no debe separarse del autotanque, vigilando que la maniobra se lleve a cabo correctamente.

El operador cercano al tanque, antes de desconectar el adaptador, deberá asegurarse de que la válvula de llenado ha checado correctamente. Para esto cerrará la válvula de la manguera, abrirá la válvula de purga del adaptador de seguridad hasta que deje de salir gas, o bien si no usó adaptador de seguridad, aflojará el adaptador normal permitiendo que escape el gas, hasta que este deje de salir.

En caso de que continuara saliendo gas, el operador golpeará con un pedazo de madera la válvula de llenado del tanque para que de esa manera cierre. De no ser así, dejará conectado el adaptador de seguridad, retirando entonces la manguera con su adaptador normal. Si no se usa adaptador de seguridad, el operador dejará conectada la manguera y avisará al chofer para que ayude a la oficina, la cual enviará a la cuadrilla de emergencia. En este caso no se volverá a surtir gas a ese tanque hasta que se haya cambiado la válvula estando el tanque vacío.

Al terminar todas estas operaciones, el operador cercano al tanque se asegurará que dejó bien cerrada la válvula de máximo llenado y colocará el tapón de plástico a la válvula de llenado.

En caso de que el medidor de flotador marque mucho menos que el 85 %, se reportará a la oficina para que no se surta gas al tanque hasta que se haya reparado.

Finalmente se retirará la manguera enrollándola en el carrete del autotanque, se quitan las cuñas de las llantas del autotanque y se levanta el letrero de "PRECAUCION...".

Llenado de los recipientes montados en los vehículos con carburación a gas, propiedad de la empresa.

El suministro de gas L.P. a los recipientes montados en los vehículos con carburación a gas, propiedad de la empresa, se hará mediante una toma. La toma estará firmemente sujeta a un marco de concreto antes de la conexión de la manguera. La toma se localizará dentro de la zona de protección del tanque.

La toma estará formada por una válvula de exceso de flujo, una válvula de corte manual; una válvula de relevo hidrostático; punto de fractura; conexión para la manguera, tramo de manguera; una válvula de cierre rápido manual y un acoplador.

Entre dos válvulas de acción manual, se tendrá una válvula de relevo hidrostático

La manguera a emplear es la apropiada para gas L.P. fabricada de neopreno, con doble malla de acero, resistente a la flama y al gas L.P., para una presión de ruptura de 13.78 Mpa (146.6 kg/cm²). Para evitar dobleces bruscos y maltrataos de la manguera, se tendrá un rin para enrollarse o un gancho para colgarse.

Antes de conectar la manguera al recipiente de los vehículos para su llenado, se conectarán a tierra mediante pinzas o "caimanes" para descargar la electricidad estática.

Se prohibirá el paso de personas o vehículos no autorizados a las zonas de almacenamiento y trasiego y de tomas de suministro.

Materias primas manejadas en la operación

Sustancia, equipo de seguridad y cantidad

Con respecto al proyecto propuesto durante la etapa de operación se almacenará y manejará gas L.P., el cual se usará como carburante en los vehículos de combustión interna usados para el reparto de productos.

Para la operación de la estación de suministro de gas L.P., se instalarán equipos que tendrán la finalidad de proporcionar garantías en materia de seguridad industrial. Los equipos más importantes se resumen a continuación:

- Un medidor magnético de volumen
- Una válvula de llenado de doble check
- Dos válvulas de seguridad
- Una válvula de check – look
- Una válvula de retorno de vapor
- Una válvula de servicio

Para la salida del líquido en la parte inferior

- Una válvula de exceso de gasto
- Una válvula de cierre manual

Tipo de recipientes y/o envases de almacenamiento

Se utilizará un tanque de almacenamiento para gas L.P. con las siguientes características:

Capacidad del tanque:	5 000 l, agua al 100%
Forma del tanque:	horizontal con cabezas semiesféricas
Material de construcción:	acero (soldado con arco eléctrico)
Peso del tanque:	1 032 kg
Altura del tanque:	1.16 m
Longitud del tanque de cabeza a cabeza:	4.84 m
Longitud de pata a pata:	3.53 m
Altura de patas a capuchón:	1.43 m

Componentes involucrados en el gas L.P.

El concepto de gas L.P. o gas licuado de petróleo se aplica a ciertos hidrocarburos específicos que se pueden licuar a presiones moderadas y temperaturas normales; pero que son gaseosos en condiciones atmosféricas normales. Los principales constituyentes del gas licuado de petróleo son el propano, propileno, butano, butileno e isobutano, mezclados en cualquier proporción o con aire. El gas L.P. producido en la separación de hidrocarburos más pesados o más densos del gas natural se encuentra primordialmente en la serie parafínica (saturada). El gas L.P. derivado del gas de refinería petrolera puede contener cantidades baja variables de hidrocarburos olefínicos (insaturados)

La mezcla más común del gas L.P. es de propano y butano, por lo que las propiedades físicas y químicas serán referidas en su mayor parte a estos compuestos alifáticos.

Componentes del gas L.P.

Propano
Propileno
Butano
Butileno
Isobutano

Componentes riesgosos

En general el gas como combustible representa un riesgo. Para el caso del gas L.P. como ya se mencionó, los principales componentes son el propano y el butano de los cuales ya se han hecho referencias de sus propiedades físicas y químicas.

Porcentaje y nombre de los componentes

Nombre, porcentaje de los componentes y densidad del gas L.P.

Nombre gas L.P.	Propano %	Butano %	Densidad Relativa del líquido H ₂ O = 1
"	100	0	0.5089
"	90	10	0.5162
"	80	20	0.5236
"	70	30	0.5309
"	60	40	0.5383
"	50	50	0.5456
"	40	60	0.5530
"	30	70	0.5603
"	20	80	0.5677
"	10	90	0.5750
"	0	100	0.5824

Requerimientos de personal.

Respecto al personal requerido, en el cuadro V.1.1.7 se muestra el número y especialidad de los empleados.

Cuadro V.1.1.7
Personal requerido en la etapa de operación

PERSONAL	NUMERO DE EMPLEADOS REQUERIDO
Supervisor	1
Mantenimiento	2
Operador	1
TOTAL	4

Requerimientos de energía.

Los requerimientos de energía son mínimos en virtud de las características del equipo que se instalará: 1 motor eléctrico de 1 HP (0.7457 KWH), dos reflectores y una lámpara incandescente.

Requerimientos de agua.

No se requiere de agua potable o cruda para la operación de la estación de servicio.

Residuos.

Emisiones a la atmósfera.

No se tendrán emisiones a la atmósfera como consecuencia de la operación normal de la estación de suministro de gas L.P.

Residuos sólidos domésticos.

No se generan residuos sólidos como consecuencia de la operación del proyecto.

Disposiciones de residuo.

No se producirán residuos como consecuencia de la operación del proyecto.

iveles de ruido.

El ruido generado por la bomba para suministro a los depósitos de los vehículos se considera que será la única fuente de ruido continuo en la operación del sistema, lo cual se estima que producirá un nivel de ruido de 65 dB de ponderación A, el cual se considera aceptable. El autotanque producirá un nivel de ruido de 75 dB de ponderación A, pero en tiempos cortos (5 minutos aproximadamente cada 2 días).

Posibles accidentes y planes de emergencia.

Debido al material que se pretende almacenar y manejar, es indispensable considerar las posibilidades de riesgo de accidentes aunque sean mínimas.

Etapa de abandono del sitio.

Estimación de vida útil.

Confianza en una operación y mantenimiento del tipo preventivo adecuados, se estima que la vida útil de la instalación en general es de 10 años.

Planes de uso del área al concluir la vida útil del proyecto.

Al término de la vida útil se revisarán todos los elementos de la estación de suministro y se sustituirán los que sean necesarios por otros con el fin de continuar desarrollando la misma actividad con altos estándares de seguridad.

7.1.2. Identificación de impactos ambientales

Análisis preliminar de impactos.

El término "impacto ambiental" se define como la modificación al ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza. Las modificaciones al ambiente como consecuencia de un proyecto pueden ser benéficas o adversas. El contar con una estación propia de suministro de gas carburante para los vehículos de reparto propiedad de la empresa tendrá los impactos benéficos primarios, secundarios y terciarios que se muestran en la red de la figura V 1 2.1. El proyecto surgió de la necesidad de la empresa en cuestión, debería de contar con la infraestructura necesaria para responder al compromiso que tienen todos los sectores de la sociedad para el control de la contaminación atmosférica en el Valle de México, considerando que las fuentes móviles constituyen la fuente más importante de emisión de gases y partículas.

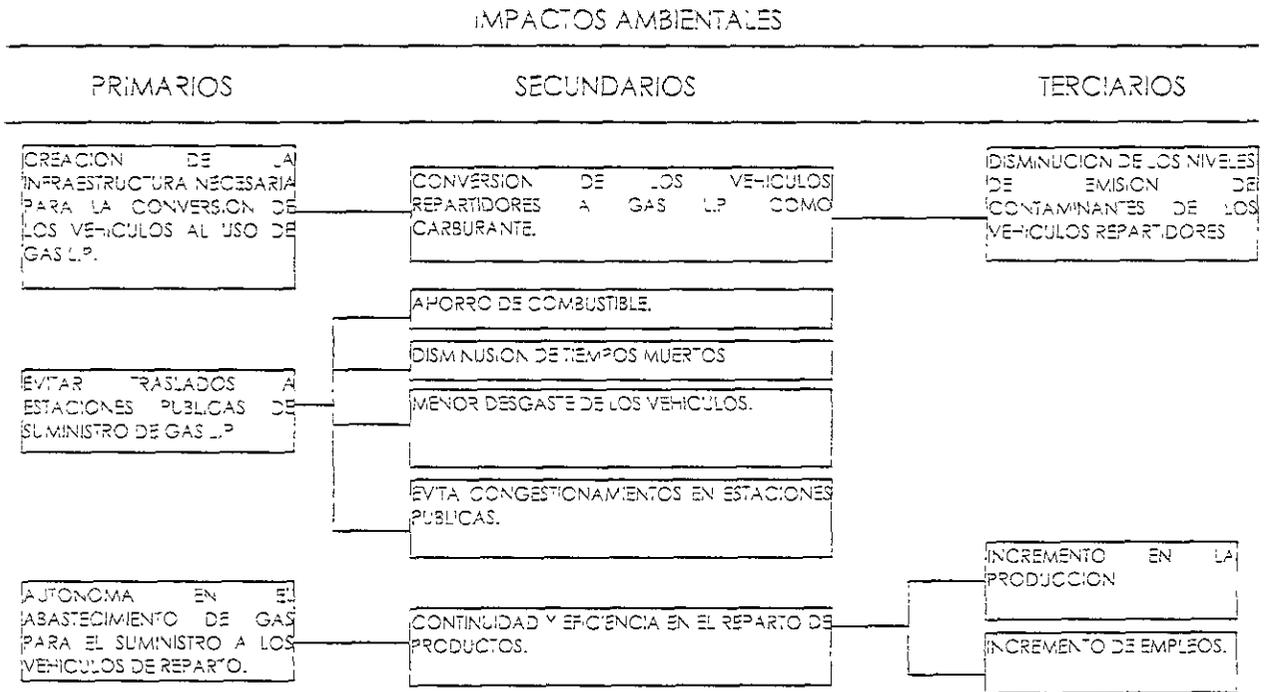


Figura V.1.2.1 Red de impactos benéficos del proyecto de estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo.

La ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en su Artículo 3°. Define a la Manifestación de Impacto Ambiental como "el documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo".

No se proporciona en la Ley ninguna definición acerca del término "impacto ambiental significativo", sin embargo, una acción que "afecta significativamente al ambiente humano" es aquella en la cual las consecuencias acumulativas globales primarias y secundarias alteran la calidad del ambiente, reducen las oportunidades de usos benéficos del mismo, o interfieren con las metas a largo plazo que se tiene programadas en los planes de desarrollo al ambiente humano. La importancia de una acción propuesta puede variar dependiendo del escenario ambiental donde se presente, en virtud de que una acción que pudiera tener impacto de poca importancia en un área urbana puede ser de gran importancia en un escenario rural o viceversa. El término "significativo" se entiende que implica fronteras de importancia y el impacto adverso que sea designado así, requiere ser analizado con detalle a fin de proponer las medidas de mitigación adecuadas.

Para determinar cuándo una obra o actividad propuesta produjera impactos significativos en el ambiente, deben analizarse los siguientes aspectos del proyecto:

El grado al cual la obra o actividad produjera impactos ambientales adicionales a los que ya se han presentado por los usos existentes en el área del proyecto;

Los impactos ambientales cuantitativos del proyecto por sí mismo, incluyendo los perjuicios acumulativos que resulten de su contribución a las condiciones adversas existentes o usos del suelo en el área del proyecto.

A qué grado el proyecto propuesto es consistente con los programas enmarcados para el control y ordenamiento del Desarrollo Urbano.

Considerando estos aspectos y de acuerdo al tipo y magnitud de la obra en estudio, no se requiere de un análisis detallado para llegar a la conclusión de que el proyecto de la estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo propuesto no tendrá impactos adversos significativos al ambiente.

En la etapa de preparación del sitio y construcción se tendrán algunos impactos incidentales de pequeña magnitud y menor importancia, como la generación de ruido y polvo en un tiempo muy corto, de manera que las condiciones normales se restauran completamente en dos semanas. Dichas actividades se llevarán a cabo en el interior del predio bardeado, por lo que serán imperceptibles desde el exterior; en consecuencia puede considerarse que el impacto no será significativo.

El predio en donde se construirá la estación de servicio se localiza en una zona destinada al uso industrial del suelo. El impacto del proyecto en la etapa de operación no será significativo en virtud de que la presencia física de la obra no afectará a la población ni al paisaje urbano, pues ya existen construcciones permanentes en el área y el proyecto propuesto no constituirá un incremento al uso del suelo.

Sin embargo, no deben ignorarse los impactos potenciales del proyecto, que se derivan de las características del material que se almacenará y manejará en la etapa de operación, las cuales conducirán a una situación permanente de riesgo. El gas licuado del petróleo es el combustible que más seguridad representa mientras se le tenga confinado y se le use bajo control; no obstante, de ocurrir un accidente imponderable podría liberarse material al ambiente originándose una situación de peligro debido a sus propiedades inflamables y explosivas.

Bajo estas circunstancias, es esencial alcanzar y obtener altos estándares de calidad de la estación de suministro de gas carburante a través de un buen diseño, manejo y control de la operación adecuados. Dada la gran cantidad de materiales potencialmente peligrosos que se manejan diariamente sin incidentes, es claro que los controles y dispositivos de seguridad que ha desarrollado la ingeniería, son efectivos. Aún así, pueden ocurrir accidentes que causen serias afectaciones a empleados o al público, y daños a propiedades. Los impactos incidentales de la preparación del sitio y construcción se estima que serán despreciables debido a la magnitud de la obra, de allí que la evaluación ambiental del proyecto propuesto debe dirigirse a la identificación de sus peligros potenciales. De esta manera podrán implantarse las medidas necesarias para reducir el peligro (mejorando el diseño) o el riesgo (mediante elevados estándares de operación, dispositivos de seguridad, etc.).

El procedimiento básico que se seguirá en los siguientes apartados para el análisis del impacto debido a los peligros potenciales de la estación de suministro de gas carburante comprende tres etapas:

1. Identificación de fallas potenciales;
2. Cálculo de la cantidad de material peligroso liberado en caso de falla; y
3. Evaluación del impacto de la liberación en el equipo de la planta, gente, ambiente y propiedades.

1. Identificación de fallas potenciales;

El primer paso en el análisis es identificar los casos representativos de liberación de material peligroso. Los casos de liberación son accidentes o fallas que pueden llevar a una liberación de gas L.P.

Figura V.1.2.2 muestra el conjunto de casos de liberación representativos en los elementos que integran la estación de suministro en proyecto, así como posibles formas de detectarlos.

Una vez que se han definido los casos de liberación, deben determinarse las propiedades relevantes del material liberado.

El gas L.P. está compuesto de butano y propano, ya sea separadamente o como mezcla y contenido algunas veces pequeñas cantidades de iso-butano. Todos estos son productos de petróleo con características que los colocan en el periodo entre la gasolina y el gas natural. En estado libre y a temperaturas mayores que la de congelamiento, todos estos ingredientes son gases. El butano tiene un punto de ebullición de -0.5°C . A temperaturas mayores que ésta normalmente es gaseoso, pero a temperaturas menores se convierte en líquido. El punto de ebullición del iso-butano es -11.7°C , mientras que el del propano es -42.1°C . Se licúa en el punto de producción por las ventajas que en ese estado representa su almacenamiento y transporte, pero sólo puede conservarse en forma líquida a temperaturas normales confiándolo en recipientes cerrados de acero. Como las presiones que estos productos desarrollan se incrementan conforme la temperatura sube, es necesario utilizar recipientes de alta resistencia capaces de soportar las presiones desarrolladas como resultado de cualquier temperatura normal a la cual pueden ser almacenados.

Para evitar que los recipientes revienten como resultado de la presión que pueda desarrollarse si se exponen a temperaturas anormalmente altas, se diseñan con aproximadamente cuatro o cinco veces la resistencia que se requiere para soportar presiones anormales de almacenamiento. Es concebible que bajo condiciones de extremo calor la presión interna pueda elevarse lo suficiente para reventar aún estos recipientes tan resistentes. Si esto sucediera, el contenido total del tanque sería de peligro. Para evitar que el tanque reviente se equipará con dos válvulas de relevo de presión, que abren a presiones inferiores al límite de resistencia del tanque, para descargar parte del contenido del propio tanque y mantener así la presión dentro del límite de seguridad del recipiente.

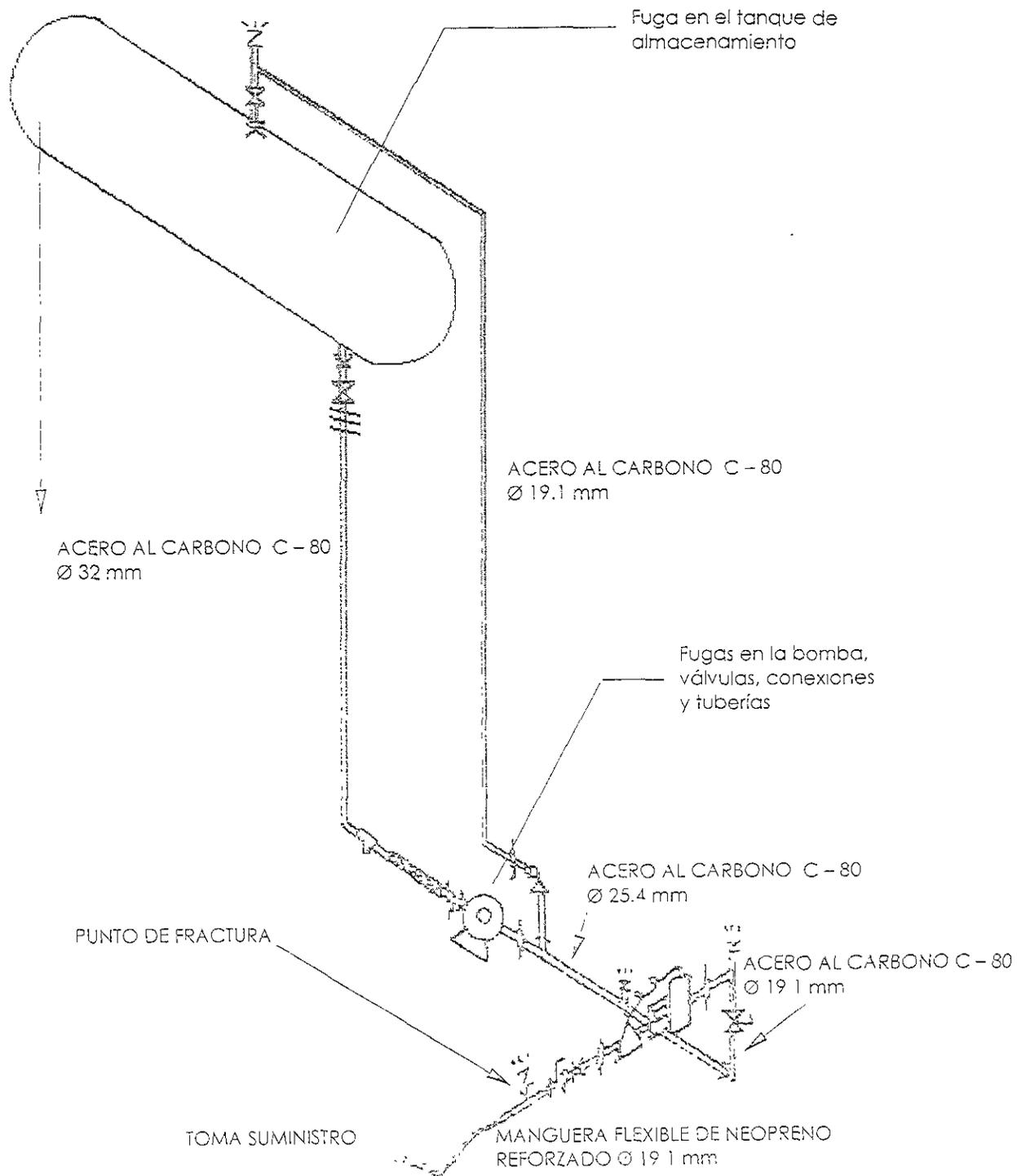


Figura V.1.2.2 Posibles casos de falla que conducirían a una liberación de gas L.P.

Desde el punto de vista de peligro, escaparía algo del contenido del tanque si se calentara demasiado. Las válvulas de relevo de presión tienen la finalidad de evitar la pérdida del contenido total del tanque, pero debe tenerse la precaución de instalarlas en tal forma que el escape de gas sea mantenido al límite bajo. Las válvulas de relevo de presión se instalan en la zona de vapor del tanque de modo que sólo se descargue vapor. El instalar la válvula de relevo de presión en la zona de líquido permitirá el escape del propio líquido, lo que haría que la descarga representara muchas veces el volumen de vapor, y multiplicaría en forma considerable el riesgo. Es precisamente el riesgo de descargar líquido en lugar de vapor lo que hace que el llenado de tanques más allá de la capacidad de llenado, sea una práctica considerablemente peligrosa. El tanque de almacenamiento de gas L.P. no debe ser sobrellenado bajo ninguna circunstancia, como tampoco se deben sobrellenar los depósitos de los vehículos.

El gas L.P. encenderá sólo si está mezclado con aire en determinadas proporciones. Los límites de inflamabilidad dentro de los cuales se efectuará la combustión se muestran en el cuadro V.1.2.¹

Cuadro V.1.2.1 Límites de inflamabilidad de gas L.P. mezclado con aire
porcentaje de gas en la mezcla aire - gas

	PROPANO	BUTANO
LIMITE INFERIOR	2.4 %	1.9 %
LIMITE SUPERIOR	9.5 %	8.4 %

Como la mayor parte del gas L.P. que se emplea es una mezcla de butano y propano, debe considerarse que el grado de inflamabilidad incluye el más alto y el más bajo límite para ambos productos.

Para prevenir incendios y explosiones es necesario darse cuenta cuando el gas licuado del petróleo se está fugando. En el estado de vapor es casi invisible. Como cualquier otra sustancia volátil, su evaporación rápida produce un efecto refrigerante causando la condensación de la humedad atmosférica, la cual es visible en el punto de escape y se asemeja a un chorro de vapor de agua. Esta mezcla puede flotar y desarrollarse con el gas escapado, desapareciendo gradualmente en el aire. Para ayudar a localizar el gas se usan odorantes que le dan un olor distintivo y desagradable. Es tan poderoso este odorante que un individuo normal puede darse cuenta de una fuga por su olor en concentraciones tan bajas como la décima parte del límite inferior de inflamabilidad.

El odorante es una advertencia; si se puede oler téngase cuidado. No puede decirse por el olor si el gas presente está o no es en cantidades inflamables, de manera que la única acción inteligente a seguir es considerar que es peligroso, hasta asegurarse que su escape ha cesado y que el gas está diluido más allá del punto peligroso.

Todo gas licuado del petróleo es más pesado que el aire. El propano pesa una y media veces lo que el aire, y el butano e iso - butano tienen doble peso que el aire. Cuando escapan a la atmósfera tienden a asentarse en el suelo, y al menos que se disipen rápidamente por aire en movimiento, flotarán hacia abajo ya sea sobre la superficie del suelo o hacia sótanos o cualquier otra cavidad que pueda haber en la dirección de las corrientes. En este aspecto el gas actúa en forma idéntica al vapor de gasolina. En el aire quieto la dispersión en la atmósfera es muy lenta, pero su mezcla con aire se efectúa con mayor rapidez conforme hay mayor movimiento de aire.

En resumen, las características del gas L.P. que lo hace peligroso y que determinan las acciones para prevenir y combatir incendios, son las siguientes: es altamente volátil y es mantenido bajo presión; se incendiará si está presente una fuente de ignición al estar mezclado con aire en proporciones de inflamabilidad; su rápida evaporación produce un efecto refrigerante; es odorizado como una advertencia de que se ha fugado y puede estar presente en cantidades peligrosas. Puede moverse a una distancia considerable desde el punto de escape en concentraciones peligrosas, ya sea en el sentido de la corriente de aire o hacia abajo.

Considerando las características del gas L.P. y del proyecto, se analizaron los eventos que, aún con probabilidad muy baja, podrían presentarse durante el desarrollo de la actividad propuesta, obteniéndose un árbol de eventos reducido, el cual se tomará como secuela de cálculo en la siguiente etapa del análisis del impacto debido a los peligros potenciales de la estación de suministro de gas L.P.

Para el proyecto en estudio, se hicieron las siguientes consideraciones para el análisis del árbol de eventos que dieron por resultado la figura V.1.2.3



Figura V.1.2.3 Árbol de eventos reducido para el proyecto de estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo.

El diseño de la instalación ha sido realizado con apego a la reglamentación y normatividad vigente, y ha sido autorizado por la Dirección de Gas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial; el equipo que se instalará ha sido escogido con calidad de norma oficial mexicana (NOM); durante la operación se dará el mantenimiento adecuado y el gas L.P. será manejado por personas capacitadas; sin embargo, pudieran existir situaciones que conduzcan a los eventos considerados anteriormente, tales como accidentes o sismos de gran magnitud; por consiguiente, la probabilidad de que se libere gas L.P. es baja, sin embargo existe, y deben preverse las consecuencias.

Modelación de los eventos probables máximos de riesgo

Determinación del índice de explosividad

La Oficina de Minas de los Estados Unidos (United States Bureau of Mines) desarrolló tres índices relativos al peligro de explosión: sensibilidad de la ignición; severidad de la explosión e índice de explosividad. Todos estos índices son adimensionales y se derivan de la comparación de parámetros de explosividad medidos para una sustancia dada con los del carbón Pittsburg. Se eligió el carbón Pittsburg debido a las muchas pruebas a que ha sido sometido por muchos años en minas experimentales a gran escala.

Las expresiones matemáticas correspondientes a las tres medidas relativas al riesgo de explosión, son:

$$\text{Sensibilidad de la ignición} = \frac{(IT \times IE_{\min} \times EC_{\min})_{\text{carbón}}}{(IT \times IE_{\min} \times EC_{\min})_{\text{sustancia}}} \quad (a.1)$$

$$\text{Severidad de la explosión} = \frac{(EP_{\max} \times PR_{\max})_{\text{carbón}}}{(EP_{\max} \times PR_{\max})_{\text{sustancia}}} \quad (a.2)$$

$$\text{Índice de explosividad} = \text{sensibilidad de la ignición} \times \text{severidad de la explosión} \quad (a.3)$$

donde:

- IT = Temperatura de ignición en °C;
- IE_{min} = energía mínima de ignición de la nube en joules;
- EC_{min} = concentración mínima de explosión en g/m³;
- EP_{max} = presión máxima de explosión, en psi; y
- PR_{max} = tasa máxima de elevación de la presión, en psi/s.

Las características de explosión del carbón Pittsburg se muestran en el cuadro V.1.2.2

Cuadro V.1.2.2
 Características explosivas del carbón Pittsburg.

	Índice de explosividad	Sensitividad de la ignición	Severidad de la explosión	EP _{máx} psi/s	PR _{máx} psi/s	IT °C	IE _{mín} joules	EC _{mín} g/m ³
Carbón Pittsburg	1.0	1.0	1.0	90	2,300	610	0.06	55

Para el caso del gas L.P., los parámetros de explosividad se muestran en el cuadro V.1.2.3

En los siguientes aparatos se presentan los cálculos efectuados para la obtención del índice de explosividad del gas L.P.

Cuadro V.1.2.3
 Características explosivas del gas L.P.

	Índice de explosividad	Sensitividad de la ignición	Severidad de la explosión	EP _{máx} Psig	PR _{máx} psi/s	IT °C	IE _{mín} joules	EC _{mín} g/m ³
Gas L.P.	4.70	9.07	0.519	103.49	3.850	493	0.01	45.40

Presión máxima de explosión EP_{máx}

La presión máxima de la explosión se obtuvo de manera aproximada mediante una analogía con una denominada "presión de detonación" de un explosivo, que es la presión en la zona de reacción, medida frecuentemente en kilobares.

La presión de la detonación se puede aproximar con la siguiente fórmula, tomada de Explosives and Rock Blasting Field Technical Operations, Atlas Powder Company:

$$DP = 2.325 \times 10^{-7} \times VOD^2 \times \rho$$

donde:

- P = presión de la detonación en kbar
- ρ = densidad en g/cm³
- VOD = velocidad de la detonación en pie/s

Adoptando el valor de la concentración mínima de la explosión como densidad (45.40 g/cm³), y una velocidad de detonación de 26,000 pie/s, valor alto por tratarse de expansión en el aire, se tiene.

$$DP = 2.325 \times 10^{-7} \times 26,000^2 \times 0.0000454$$

$$DP = 0.007135518 \text{ kbar}$$

Convirtiendo esta presión a psi y haciendo la analogía, se obtiene:

$$EP_{\text{máx}} = DP = 0.007135518 \text{ kbar} \times 14,504 \text{ psi/kbar}$$

$$EP_{\text{máx}} = 103.49 \text{ psi}$$

que es la presión máxima de explosión aproximada.

- Tasa máxima de elevación de la presión $PR_{\text{máx}}$

La tasa máxima de explosión se considera de aproximadamente 3,850 psi/s (tomado de Industrial Fire Hazards Handbook, NFPA).

- Temperatura de ignición T_i

La temperatura de ignición del gas L.P., suponiendo que se trata de propano es de 493 a 549°C. Su temperatura de autoignición es de 504°C.

- Energía mínima de ignición de la nube $IE_{\text{mín}}$

Si la concentración del gas está dentro de los límites inflamables y la temperatura de la mezcla es suficientemente alta, el gas entrará en ignición. La temperatura a la cual la ignición ocurre sin la presencia de una flama se le llama temperatura de autoignición. Si la temperatura es menor que la de autoignición, se requiere una cantidad mínima de unos cuantos milijoules (0.01 joules) para la ignición de la nube.

- Concentración mínima de la explosión $EC_{\text{mín}}$

El peso específico del propano es de 1,915.8 g/m³. Por otra parte, el límite inferior de explosividad es 2.37%, lo que significa que si de propano se tiene 2.37% y un 97.63% de aire, la mezcla será explosiva.

Entonces,

$$EC_{\text{mín}} = 1,915.8 \text{ g/m}^3 \times 0.0237 = 45.40 \text{ g/m}^3$$

Cálculo del índice de explosividad

Sustituyendo los valores de las características explosivas obtenidos anteriormente en las ecuaciones, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Sensitividad de la ignición} = \frac{610 \times 0.060 \times 0.055}{493 \times 0.010 \times 0.045} = 9.07$$

$$\text{Severidad de la explosión} = \frac{90 \times 2300}{103.49 \times 3850} = 0.519$$

$$\text{Índice de explosividad} = 9.07 \times 0.519 = 4.70$$

El índice de explosividad constituye un parámetro útil de la evaluación de la explosividad relativa. El cuadro V.1.2.4 muestra una correlación empírica entre los índices de la Oficina de Minas de Estados Unidos y una categorización descriptiva del peligro de explosión.

Cuadro V.1.2.4
 Correlación entre las categorías descriptivas de las explosiones de
 gas L.P. y los índices de la Oficina de Minas de los Estados Unidos

Tipo de explosión	Sensitividad de la ignición	Severidad de la explosión	Índice de explosividad
Débil	< 0.2	< 0.5	< 0.1
Moderada	0.2 – 1.0	0.5 – 1.0	0.1 – 1.0
Fuerte	1.0 – 5.0	1.0 – 2.0	1.0 – 10
Severa	> 5.0	> 2.0	> 10

Fuente: Industrial Fire Hazards, National Fire Protection Association.

A partir de los resultados obtenidos de las medidas relativas al riesgo de explosión, y de acuerdo a los índices de explosión de la Oficina de Minas de los Estados Unidos, se concluye que:

- La sensibilidad a la ignición del gas L.P. que será manejado en la etapa de operación del proyecto es severa ($9.07 > 5$).
- La severidad de la explosión sería moderada en el caso de que llegara a presentarse un siniestro ($0.5 < 0.519 < 1$); y
- El índice de explosividad, obtenido como el producto de los dos índices anteriores sitúa a la explosión en una categoría fuerte ($1.0 < 4.7 < 10$).

Árbol de fallas para la determinación de la probabilidad de ocurrencia de un evento extraordinario

En la figura V.1.2.4 se presenta el árbol de fallas para el proyecto en estudio.

La frecuencia, es un concepto basado en la experiencia para la contabilidad de los instrumentos utilizados en una estación de gas L.P., ello se ha determinado en probabilidades históricas de errores tanto humanos como de operación:

Reglas para el cálculo ^(a) del árbol de fallas en una estación de gas L.P.

Falla del tanque		Falla de tubería		Falla de bomba		Falla de manguera		Falla de válvulas	
veces/hora		veces/hora		veces/hora		veces/hora		veces/hora	
f1	3 x 10 ⁻¹²	Uniones f4'	f4 = f4' x P2	Desgaste de empaques y sellos f5	1 x 10 ⁻⁹	ruptura f6	3 x 10 ⁻⁷	Válvula de control f8	3 x 10 ⁻⁵
f2	1 x 10 ⁻¹⁰	Falla de la estructura P2"				Falla de conexión f7	1 x 10 ⁻⁸	Válvula de alivio de presión f9	2.5 x 10 ⁻⁶
f3 = f3' x P1'	0.03 x 10 ⁻¹²							Válvula manual f10	1.5 x 10 ⁻³
F1 = S f1	1.03 x 10 ⁻¹⁰	F2 = S f1		F3 = S f1	1 x 10 ⁻⁹	F4 = S f1	1.0003 x 10 ⁻⁸	f5 = S f1	4.75 x 10 ⁻³

$$FT = F1 + F2 + F3 + F4 + F5 = 4.7511 \times 10^{-5} \text{ veces por hora}$$

se hubiera una probabilidad del 1% de que se presente un BLEVE, en una zona que no hay fuentes de ignición cercanas por las cuales pudiera ocurrir la presión interna hasta reventar el tanque

se hubiera una probabilidad del 1% en la falla de tuberías en virtud de los de acuerdo al modelo SAP90 para la simulación de la estructura, se hubiera que ante el efecto de sismo no se tendrían deformaciones excesivas que puedan provocar la falla de uniones en tuberías.

f1: Probabilidad
f: Frecuencia (f')

Con fundamento en datos obtenidos de la bibliografía, sobre la historia de falla de los diversos equipos y dispositivos que se utilizarán en el proyecto, en el cuadro V.1.2.5 se presentan los cálculos correspondientes a la frecuencia con que ocurrirán las fallas, así como la frecuencia total de fallas del sistema, que es de 4.7511×10^{-5} veces por hora, valor que se considera una frecuencia muy baja del evento de riesgo.

Cálculo de Consecuencias.

2. Cálculo de la cantidad de material peligroso liberado en caso de falla

La mayor parte de los incidentes comienzan con el escape de un material peligroso de su confinamiento. Existen ecuaciones bien conocidas que pueden usarse para calcular la cantidad de material liberado dada la dimensión del orificio y las propiedades termodinámicas y físicas del material liberado. El análisis se efectuará siguiendo la secuencia del árbol de eventos reducido de la figura V.1.2.3

Liberación instantánea.

Bola de fuego.

Radio máximo de la bola de fuego en metros:

$$R_f = 2.665 M^{0.327}$$

M masa flamable liberada en kilogramos.

Aún cuando desde el punto de vista de operación sería mejor tener un tanque de 10,000 litros (agua), se optará por un tanque de menor capacidad (5,000 litros), para reducir el riesgo; en estas condiciones se estima que el tanque tendrá que llenarse cada 2 días.

Caso más desfavorable:

Densidad absoluta del gas L.P. líquido es $\rho = 530.0 \text{ Kg/m}^3$ a 15° c .

Para el tanque de almacenamiento de 5,000 litros (5 m^3) y considerando que sólo podrá llenarse el 85 % de su capacidad, se tiene:

$$M = \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) (5 \text{ m}^3) (0.85)$$

$$M = 2,252.5 \text{ kg}$$

En consecuencia, el radio máximo de la bola de fuego sería:

$$R_f = 2.665 (2252.5)^{0.327}$$

$$R_f = 33.27 \text{ m}$$

Duración de la bola de fuego, en segundos:

$$t_f = 1.089 M^{0.327}$$

$$t_f = 1.089 (2252.5)^{0.327}$$

$$t_f = 13.59 \text{ s}$$

Tasa de liberación de energía por combustión (J):

$$Q = \frac{\eta H_c M}{t_f}$$

η eficiencia de combustión (MN/m²):

$$\eta = 0.27 P_s^{0.32}$$

P_s Presión de vapor saturado, en MN/m² = 65 Kg/cm² = 65.86 MN/m² a 15° C
 H_c Calor de combustión, en J/kg

Suponiendo que se trata de propano (mayor poder calorífico que el butano), se tiene:

$$H_c = 21,560 \text{ BTU/lb} = 21,560 \times 2.324 \text{ i} = 50,107.60 \text{ kJ/kg}$$

$$H_c = 50,107,600 \text{ J/kg}$$

$$\text{Así, } \eta = 0.27 (65.86)^{0.32} = 1.031$$

$$\text{Entonces, } Q = \frac{1.031 (50107600) (2252.5)}{13.59}$$

$$Q = 8.56 \times 10^9 \text{ J}$$

El flujo de radiación I a una distancia r del centro de la bola de fuego está dado por:

$$I = \frac{8.56 \times 10^9}{4\pi (33.27)^2} = 6.15 \times 10^5 \text{ Wm}^{-2}$$

Liberación no instantánea.

Fugas en la bomba, válvula, conexiones y tubería.

Primer paso:

Flujo crítico:

$$P_a < P_1 \left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

y es subcrítico:

$$P_a > P_1 \left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

Donde:

P_a presión atmosférica (Nm^{-2})

P_1 presión en el elemento en (Nm^{-2})

γ coeficiente de calor específico

A la altitud de la Ciudad de México, $P_a = 0.797 \text{ kg/cm}^2$

$$P_a = 0.797 (1.0133 \times 10^2) = 80.76 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 80,760 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_1 = 18.67 \text{ m} = 1.867 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} (1.0133 \times 10^2) = 189.18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 189,183 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$\gamma = 1.133$ (suponiendo que el gas L.P. es sólo propano)

Así, se tiene

$$189,183 \left[\frac{2}{1.133 + 1} \right]^{\frac{1.133}{(1.133 - 1)}} = 109,317.38 \text{ Nm}^{-2}$$

Como $P_a = 80,760 \text{ Nm}^{-2}$, $80,760 < 109,317.38$, por lo que el flujo es crítico

Segundo paso:

calculo de la descarga

$$Q = \gamma C_d A_T P_1 \sqrt{\frac{[M \gamma] \left[\frac{2}{\gamma + 1} \right]^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}}{R T_1 (\gamma + 1)}}$$

Donde:

- Q tasa de liberación (kg/s)
- C_d coeficiente de flujo, para flujo crítico $\gamma = 1$.
- C_a coeficiente de descarga, para el caso de la liberación de gas (fuga) se usa, $C_a = 1.0$
- A_r área del orificio de liberación (m^2)
- P presión del gas en el elemento, (Nm^{-2})
- M peso molecular.
- C_p calor específico.
- R constante universal de los gases ($Jmol^{-1} K^{-1}$)
- T_l temperatura de líquido, ($^{\circ}K$)

En la instalación se manejan tres diámetros: 32 mm, 25.4 mm y 19.1 mm, por lo que la expresión se evaluará en los tres casos, suponiendo orificio de fuga con diámetro igual al 20 % del diámetro de la tubería.

Peso molecular del propano: 44.094

Constante universal de los gases: 8.314 J/mol $^{\circ}K$.

$$T = -28^{\circ} K = 244.9 K.$$

Si la fuga se presenta en válvulas, accesorios y tuberías de 32 mm de diámetro D, suponiendo un orificio regular de la fuga de diámetro 0.2 D, se tendría

$$A_r = \frac{\pi (0.20 \times 0.032^2)}{4} = 0.00016 m^2$$

$$Q = (1)(1)(0.00016)(189,183) \sqrt{\frac{(44.094)(1.133) \left(\frac{2}{1.133+1}\right)^{1.133}}{(8.314)(244.9)}}$$

$$Q = 2.83 Kg/s$$

Si la fuga se presentara en válvulas, accesorios o tuberías de 25.4 mm, de diámetro,

$$A_r = \frac{\pi (0.20 \times 0.0254^2)}{4} = 0.00010 m^2$$

y sustituyendo, se tendría

$$Q = 1.79 kg/s$$

Para el caso de válvulas, accesorios o tuberías de 19.1 mm,

$$A_r = \frac{\pi (0.20 \times 0.0191^2)}{4} = 0.000057 \text{ m}^2$$

y

$$Q = 1.01 \text{ Kg/s.}$$

Una vez de la liberación el material descargado existe variaciones en su comportamiento influenciado por su origen y por la duración de la liberación. A menos que entre en ignición en esta fase temprana, la mayor parte de las fugas desarrollan nubes de gas disperso.

Una flama jet; liberación no instantánea con ignición inmediata.

Flama jet.

Orificio con un diámetro equivalente D_{eq} :

$$D_{eq} = D_o \sqrt{\frac{P_{g,o,a}}{P_{g,a}}}$$

Donde:

D_o diámetro del orificio real.

$P_{g,o,a}$ densidad relativa del gas a las condiciones de flujo.

$P_{g,a}$ densidad del gas a las condiciones ambiente.

Suponiendo que el gas L.P. es 100 % propano:

$$P_{g,o,a} = \frac{530 \text{ Kg/m}^3}{998.2 \text{ Kg/m}^3} = 0.531$$

$$P_{g,a} = 1.550$$

$$D_{eq} = 0.20 (0.032) \sqrt{\frac{0.531}{1.550}} = 0.0037 \text{ m}$$

El flujo alcanza las condiciones del ambiente inmediatamente, lo cual el orificio equivalente puede considerarse coincidente con el orificio real.

Perfil de la concentración del jet.

La concentración sobre el eje del jet a una distancia x del orificio puede obtenerse con:

$$C_m = \left[\frac{b_1 + b_2}{b_1} \right] \frac{0.32 \times X}{D_{eq} \sqrt{P_{g,a}}} + 1 - P_{g,a}$$

Donde:

C_m concentración del vapor sobre el eje del jet (kg/m³)

$$b_1 = 50.5 + 48 P_{g,a} - 9.95 P_{g,a}^2$$

$$b_2 = 23.0 + 41.0 P_{g,a}$$

$$b_1 = 50.5 + 48 (1.550) - 9.95 (1.550)^2 = 100.99$$

$$b_2 = 23.0 + 41.0 (1.550) = 86.55$$

$$C_m = \frac{1.85}{0.32 \times \frac{X}{0.0037} \frac{1.550}{\sqrt{0.531}} + 1 - 1.550} = \frac{1.85}{183.96 \times 0.550}$$

X m	C_m Kg/m ³	Porcentaje de gas en la mezcla aire gas
1	0.01	1 %
2	0.005	0.5
3	0.003	0.3
4	0.002	0.2
5	0.002	0.2
6	0.001	0.1
7	0.001	0.1
8	0.001	0.1
9	0.001	0.1
10	0.001	0.1

Como consecuencia del jet puede presentarse un incendio

El modelo de la flama se presenta como una serie de fuentes puntuales esparcidas a lo largo del centro de línea con todas las fuentes radiando iguales cantidades de calor Q_b .

Calor radiado (Q_b), gasto liberado (Q) y n_b fuentes puntuales:

$$Q_b = \eta Q H_c$$

Donde

- Q_p calor radiado (Jkg^{-1})
- η factor de eficiencia: 0.35
- Q Gasto liberado (Kg/s)
- H_c Calor de combustión (Jkg^{-1})

En nuestro caso, se tiene

$$Q_b = 0.35 (2.83) (50,107,600)$$

$$Q_b = 49'631,577.8 Jkg^{-1}$$

Radiación I , en un punto particular en la flama a una distancia r :

$$I = \frac{X_g Q_b}{4 \pi r^2}$$

Donde

- I intensidad de calor de la radiación (Wm^{-2})
- Q_b calor irradiado (Jkg^{-1})
- r distancia del receptor (m)
- X_g factor de emisión (para fuegos jet, se toma como 0.2)

$$I = \frac{0.2 (49'631,577.8)}{4 \pi r^2}$$

$$I = \frac{789,911}{r^2}$$

r [m]	I [$\frac{w}{m^2}$]
1	789,911
2	197,477.7
3	87,767.9
4	49,369.4
5	31,596.4
6	21,941.9
7	16,120.6
8	12,342.3
9	9,751.9
10	7,899.1

Dispersión jet.

Se presentara si existe una liberación no instantánea, y no hay ignición inmediata, se da una dispersión del jet. Como la nube de gas L.P. es más pesada que el aire, debe analizarse la dispersión de la nube densa.

Explosión.

Explosión es una liberación repentina de energía.

La explosión es uno de los dos posibles resultados de la ignición de una nube flamable de gas. El otro resultado posible es un fogueo con efectos de irradiación pero sin efectos de ráfaga.

Radio de daño R(s):

$$R(s) = C(s) [NE_e]^{1/3}$$

onde:

R(s) radio de daño(m)

C(s) coeficiente de daño

N factor de rendimiento

E energía total de explosión (J)

Coficiente de daño es una constante que define el nivel de daño. La relación entre C(s) y el nivel de daños se muestran en el cuadro V.1.2.6

Factor de producción N es la proporción de la energía total de producción que está disponible para la propagación de la onda de presión.

Energía total de la explosión se determina calculando la máxima energía liberada de una expansión isentrópica del gas:

$$E = \frac{P_0 V}{(\gamma - 1)} \left[1 - \left(\frac{P_0}{P_b} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}} \right]$$

Donde:

- E máxima energía liberada en joules
- V volumen del gas en el tanque: 5 m³
- P_b presión de reventamiento del tanque: 1'418,620 N/m² (14 kg/cm²)
- P_a presión atmosférica: 80,760 N/m² (Ca. de México = 0.797 kg/cm²)
- γ es la relación de los calores específicos: 1:1.33

Cuadro V.1.2.6

Valores límite para varios tipos de daños de explosión característicos

C(s)	Valor límite M.J. / ³	Características del daño	
		A'l equipo	A' la gente
C(1)	0.03	Daño intenso a edificios y equipo de proceso.	1% de muertes por daño a los pulmones. > 50% de ruptura de tímpanos. > 50% con serias lesiones por proyectiles.
C(2)	0.06	Daño reparable a edificios y daño a las fachadas de viviendas.	1% de ruptura de tímpanos. 1% con serias lesiones por proyectiles.
C(3)	0.15	Daño a vidrios.	Ligeras lesiones por vidrios lanzados.
C(4)	0.4	Daño a cristales de aproximadamente 10 % de las ventanas.	

Se obtiene:

$$N = N_c \cdot N_m$$

Donde:

- N_c proporción de pérdida de producción
- N_m producción mecánica de combustión, usualmente tomada como 33%.

Por tanto, $N = 0.30 \times 0.33 = 0.10$ ó 10 %

Por otra parte:

$$E = \frac{1'418,620(5)}{(1.133 - 1)} \left[1 - \left(\frac{80,760}{1'418,620} \right)^{\frac{1.133 - 1}{1.33}} \right]$$

$$E = 15'235,891.89 \frac{N}{m^2} m^3 \text{ (joules)}$$

$$E = 3'425,028.497 \text{ Lbf m}$$

$$E = 15'234,898.85$$

utilizando la expresión para calcular $R(s) = C(s) [0.10 \times 15'235,891.89]^{1/3}$

para los diferentes niveles de daño, el radio correspondiente se presenta en el cuadro V.1.2.7

Cuadro V.1.2.7 Niveles de daño como consecuencia de una explosión

C(s)	Valor límite M J ^{-1/3}	R(s) (m)
C(1)	0.03	3.45
C(2)	0.06	6.90
C(3)	0.15	17.26
C(4)	0.40	46.02

efectos sísmicos en la estructura de sustentación del tanque.

Algunos de los casos de falla identificados anteriormente pudieran presentarse como consecuencia de un sismo de gran magnitud, en particular fugas ocasionadas por esfuerzos en las uniones de las tuberías y sus accesorios. Debido a ello es de particular importancia determinar las posibles deformaciones de la estructura de sustentación del tanque en caso de sismo. Para esta simulación se utilizó el programa de computadora SAP 90 (Structural Analysis Program versión 5.10).

De acuerdo al análisis sísmico estático realizado a la estructura en estudio se encontró un desplazamiento lateral máximo en el sentido longitudinal de 0.151 cm (figura V 1.2.5) y en el sentido transversal de 0.364 cm (figura V 1.2.6), de acuerdo al artículo 209 del Reglamento de Construcciones para el D.F. se concluye que las diferencias entre los desplazamientos laterales de piso debido a las fuerzas cortantes no exceden a 0.006 veces la diferencia de levaciones, por lo que la estructura se acepta desde el punto de vista sismorresistente. Las deformaciones presentadas en la estructura en caso de sismo no afectan el sistema de tuberías ya que son mínimas

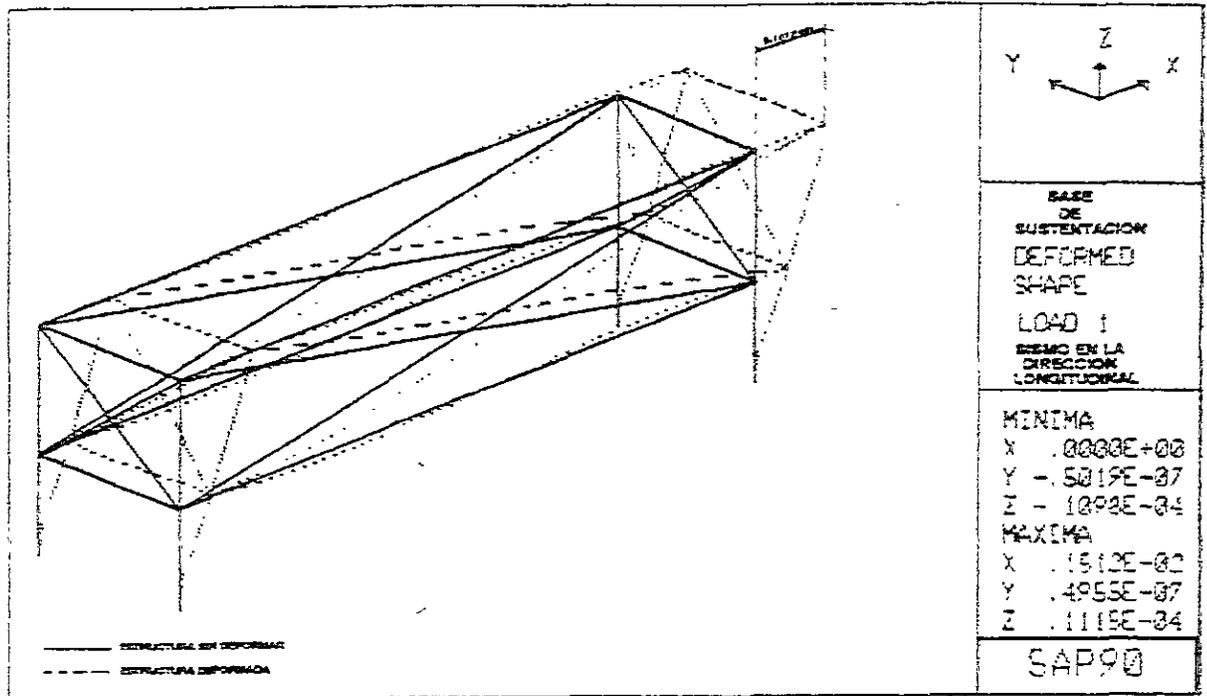


Figura V.1.2.5 Deformación de la base de sustentación en caso de sismo en la dirección longitudinal.

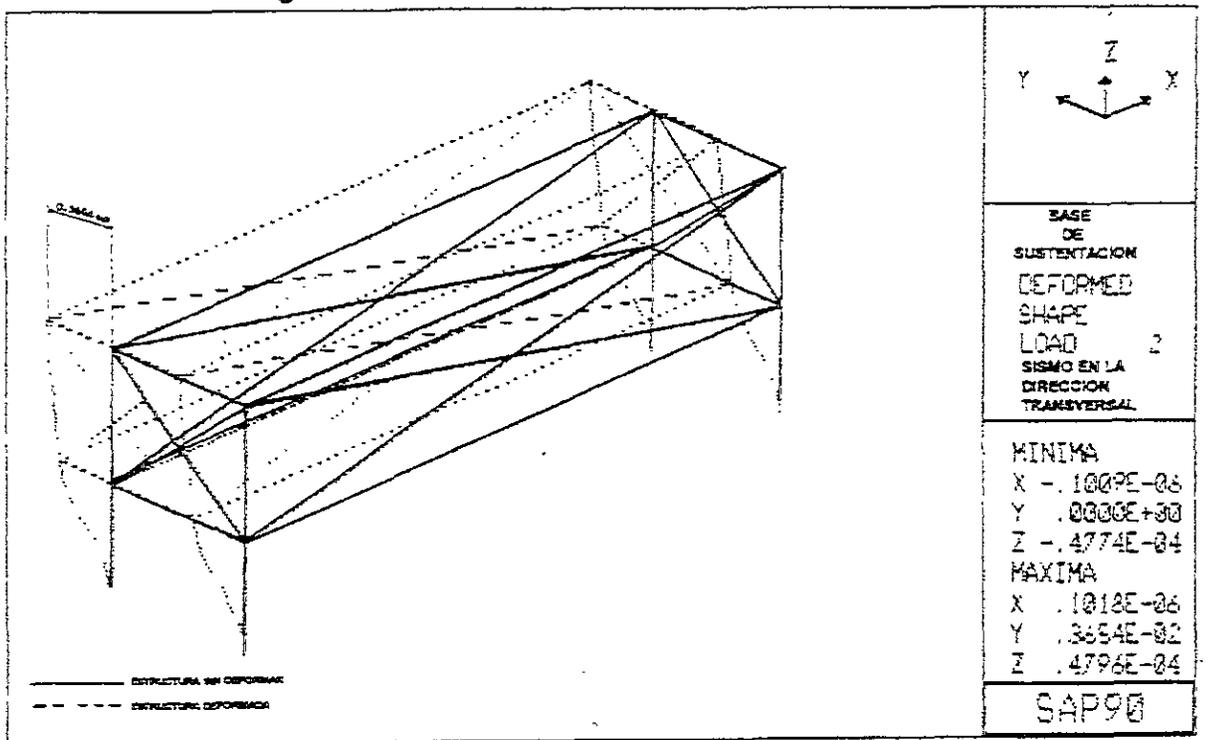


Figura V.1.2.6 Deformación de la base de sustentación en caso de sismo en la dirección transversal.

Evaluación del impacto de la liberación en el equipo de la planta, gente, ambiente y propiedades.

Área de afectación potencial en el entorno de la estación de suministro

Los resultados de cada liberación incluyen un efecto de distancia, los impactos deben estimarse dibujando el "radio de efectos" como círculos sobre mapas locales.

Bola de fuego.

El radio máximo de una bola de fuego sería de 33.27 m. La figura V.1.2.7 muestra el área de influencia de dicho evento con base en el radio de efectos. Considerando las condiciones actuales en los predios colindantes, se observa que el siniestro no causaría daños a construcciones ni a la gente.

Con respecto a las instalaciones de la propia empresa, las bodegas estarían a salvo; sin embargo, de tenerse vehículos estacionados dentro del radio de efectos pudiera presentarse un efecto dominó".

El flux de radiación en el radio máximo sería de $6.15 \times 10^5 \text{ W/m}^2$ (615 kW/m^2); al comparar esta intensidad con los valores del cuadro V.1.2.8, se observa que se rebasarían las correlaciones de accidentes de fluxes de radiación y niveles de daño en la población reportados.

Cuadro V.1.2.8 Daños causados a diferentes niveles incidentes de radiación térmica

FLUX INCIDENTE Kw/m ²	TIPO DE DAÑO CAUSADO	
	DAÑO AL EQUIPO	DAÑO A LA GENTE
37.5	Daño al equipo de proceso	100% de letalidad en 1 min. 1% de letalidad en 10 s.
25.0	Energía mínima para consumir madera en una exposición sin flama.	100% de la letalidad en 1 min. Lesiones significativas en 10 s
12.5	Energía mínima para consumir madera en una exposición a flama. Se funden las tuberías plásticas.	1% de letalidad en 1 min Quemaduras de primer grado en 10 s.
4.0		Causa dolor si la duración es mayor a 20 s, pero son improbables las ampulas.
1.6		No causan disconfort con larga exposición.

Llama jet.

Si a partir de una liberación no instantánea se tuviera una ignición inmediata se originaría una llama jet. El flux de radiación a diferentes distancias se muestra en el cuadro V.1.2.9 y se representa en la figura V.1.2.8

Como puede observarse, la mayor afectación ocurriría dentro del predio de la empresa.

Explosión.

El cuadro V.1.2.7 presenta los cálculos correspondientes al caso de una explosión; se observa que la mayor afectación ocurriría en un radio de 3.45 m

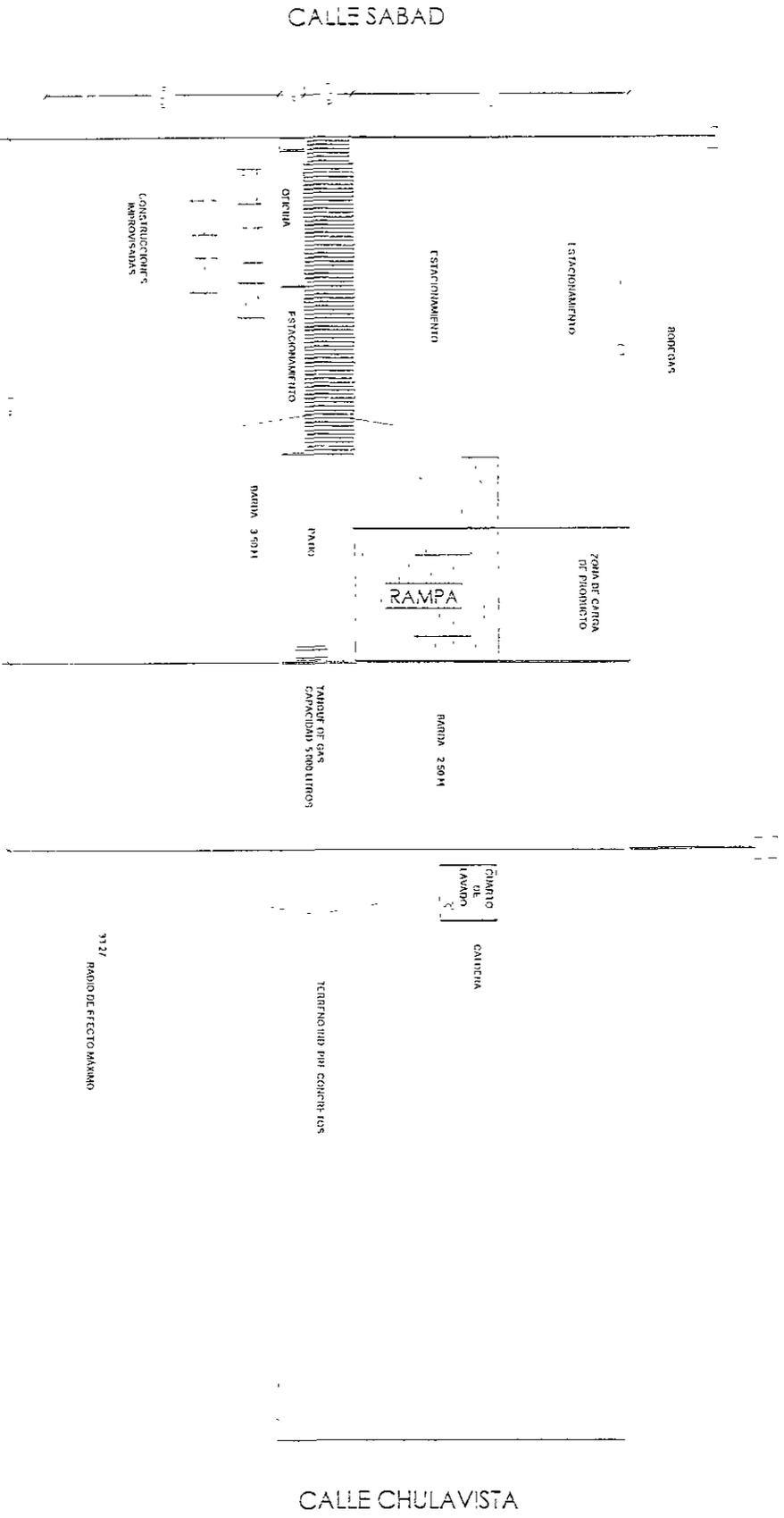


Figura V.1.2.7 Área de influencia del evento en el caso de una bola de fuego

Cuadro V.1.2.9 Radio de efectos como consecuencia de una flama jet

DISTANCIA (M)	FLUX DE RADIACIÓN (Kw/m ²)
1	789.90
2	197.47
3	87.76
4	49.37
5	31.60
6	21.94
7	16.12
8	12.34
9	9.75
10	7.90
11	6.53
12	5.48
13	4.67
14	4.03
15	3.51
16	3.08
17	2.73
18	2.44
19	2.18
20	1.97

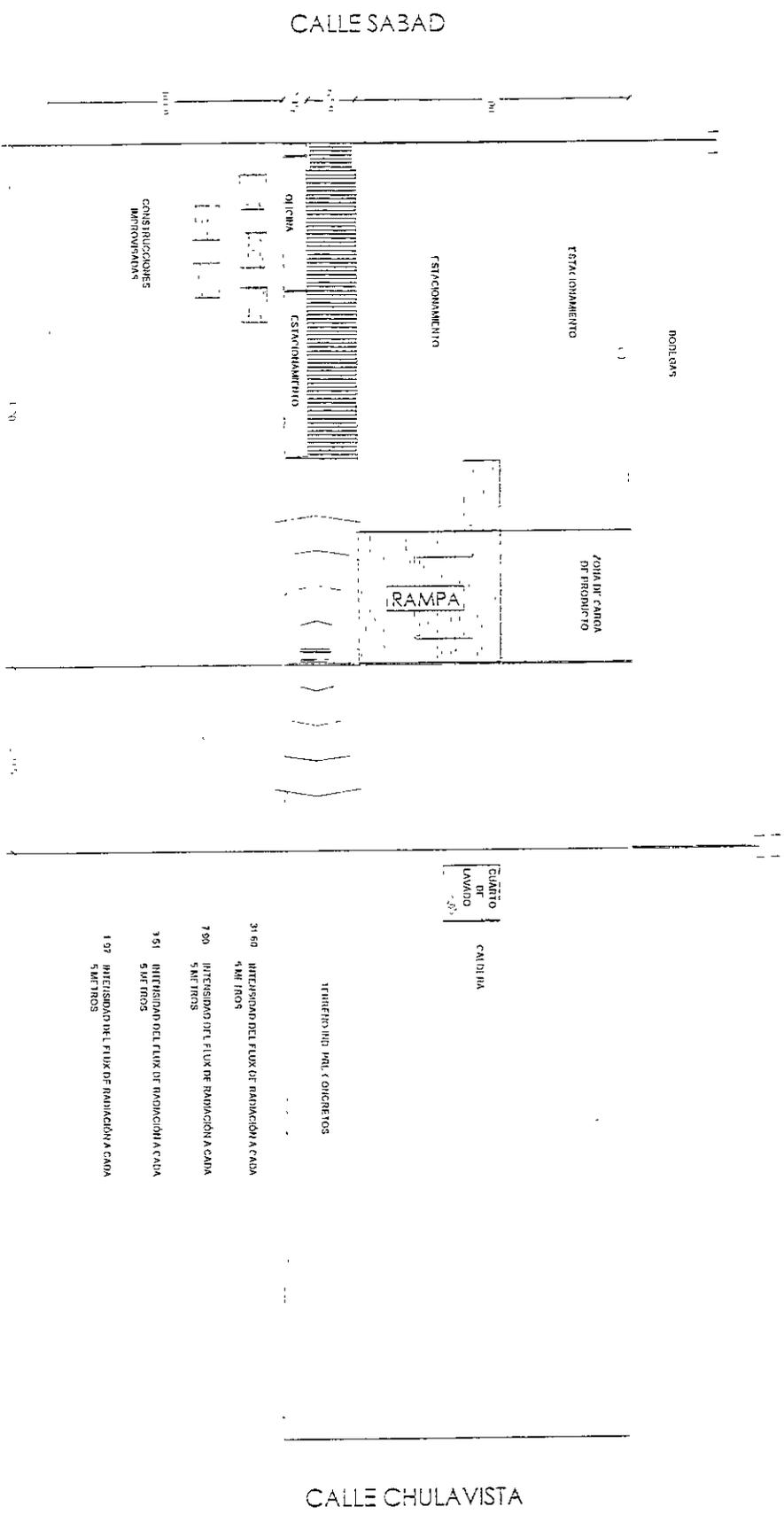


Figura V.1.2.8 Flux de radiación a diferentes distancias en el caso de una llama jet

7.1.3. Medidas de prevención y mitigación de los impactos identificados

En el presente se describen las acciones que se incluirán en el proyecto de la estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo, con el fin de prevenir los impactos potenciales identificados. Las principales medidas de prevención de los impactos potenciales se han integrado al proyecto desde las etapas de planeación y diseño. Las medidas adoptadas en cada etapa del proyecto se describen en los siguientes apartados.

Etapas de planeación.

Elección del sitio.

La elección del sitio se hizo con base en un análisis de sus condiciones en cuanto a urbanización de la zona y seguridad de la población y construcciones colindantes.

Las colindancias de la estación de suministro de gas en proyecto están libres de riesgos: no hay hornos, aparatos que usen fuego o talleres que produzcan chispas en un radio de 30 m.

El acceso es suficientemente amplio (6.5 m de ancho) y está recubierto con un piso firme de adoquín, lo cual permitirá el tránsito seguro de los vehículos repartidores y de los autotanques que transporten el gas L.P., ya que el suministro se efectuará directo al tanque de almacenamiento, por lo que no habrá toma de recepción.

La topografía en el sitio permite el drenaje superficial eficiente de las aguas pluviales.

No existen líneas de transmisión de energía eléctrica de alta tensión aéreas o subterráneas que crucen el sitio propuesto para la construcción de la estación de suministro de gas L.P.

El terreno es firme y nivelado; no hay deslaves. La estación de suministro no se construirá al margen de alguna calle o carretera.

Capacidad de almacenamiento de gas.

Aún cuando los requerimientos operativos muestran la conveniencia de instalar un tanque con capacidad de 10,000 litros (agua al 100%), se decidió instalar un tanque de 5,000 litros con el fin de mitigar el impacto en caso de un evento.

Diseño y construcción.

La instalación ha sido diseñada con base en Normas por ingenieros especializados en gas L.P. y ha sido autorizada por la Dirección de Gas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI). El equipo y materiales seleccionados cumplen con las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes.

Bases de sustentación del tanque de almacenamiento.

Con respecto al diseño de la base de sustentación del tanque de almacenamiento, los perfiles "" utilizados como vigas y columnas propuestos fueron revisados por pandeo lateral así como por flexión concluyéndose que son apropiados para las cargas normales de operación. Adicionalmente se revisó la estructura por sismo aplicando el análisis sísmico estático de acuerdo a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal, concluyéndose que la relación entre las deformaciones laterales y la altura de la base de sustentación son inferiores a 0.006 que es el límite fijado por el artículo 209 del Reglamento citado.

Instalación eléctrica.

Toda la instalación eléctrica en un radio de 15.00 m del tanque de almacenamiento y zona de trasiego, será a prueba de explosión, chispas y vapores inflamables, en cumplimiento de NEMA 7, Clase I, Grupo D.

Se contará con iluminación en la zona de almacenamiento y en las tomas de suministro. Los conductores de energía eléctrica se colocarán dentro de tuberías conduit, pared gruesa, galvanizada, roscada, visible, soportada y del diámetro adecuado.

El motor que se instale para accionar cada bomba será blindado, a prueba de chispa, explosión y vapores inflamables. En las conexiones de los motores y estaciones de botones se usarán sellos y condutefes a prueba de explosión.

El reflector para la zona de almacenamiento se localizará a más de 15 m del tanque.

El interruptor general se localizará en zona de fácil acceso para interrumpir la corriente eléctrica en caso de que se llegara a presentar una contingencia.

Rótulos de prevención.

Se distribuirán rótulos de prevención en forma conveniente y visible en la zona de almacenamiento, tomas de suministro y accesos; dichos rótulos tendrán las siguientes leyendas:

- "PELIGRO, NO FUMAR"
- "APAGUE EL MOTOR ANTES DE CARGAR GAS"
- "GAS L.P. INFLAMABLE"
- "NO CARGUE GAS CON PERSONAS A BORDO"
- "PROHIBIDO EL PASO A PERSONAS AJENAS"

Se tendrá una leyenda con instrucciones para la operación de suministro.

medidas contra incendios.

Se contará con un sistema para combatir incendios basándose en extinguidores Tipo ABC, de 9 lb. Se colocará uno en el tanque de almacenamiento, uno en la bomba y uno en la toma de suministro.

Se colocarán a una altura de 1.20 m del piso a la parte más alta del extinguidor y se sujetarán de manera que puedan descolgarse fácilmente para ser usados. Se instalarán en sitios visibles y de fácil acceso.

Etapa de operación y mantenimiento.

En la etapa de identificación de impactos ambientales, se señala que los principales impactos que deben prevenirse en la etapa de operación del proyecto, son los que pudieran ocurrir como consecuencia de una liberación de gas L.P. al ambiente, lo cual origina una situación de peligro debido a sus propiedades inflamables y explosivas.

La prevención de incendios es parte integral de toda operación llevada a cabo en relación con el almacenamiento, transporte, manejo y uso del gas L.P. , y el objetivo fundamental es el evitar liberaciones de gas a la atmósfera.

Son raros los casos de falla mecánica de unidades de control y de almacenamiento que resultan en escapes de gas. Las causas más frecuentes son accidentes imprevisibles provocados por las fuerzas de la naturaleza, como es el caso de sismos; por descuido humano o simple ignorancia.

A continuación se describen las medidas de prevención de eventos de liberación de gas que serán llevadas a cabo en la etapa de operación del proyecto.
Organización en los planes de emergencia.

Para lograr el control de las emergencias se formará un organismo que pueda hacer frente a posibles contingencias en las instalaciones de la empresa. El organismo estará integrado por un Comité Central de Seguridad, que será el conjunto de autoridades de la empresa con capacidad para decidir acerca de los destinos de la misma y podrá autorizar o rechazar todo lo relativo a las contingencias en el plan de emergencias. La responsabilidad directa de la atención a la emergencia recaerá en el Coordinador General. Las brigadas que se formarán para prevenir y controlar emergencias son las siguientes:

- Brigada de Comunicaciones.
- Brigada de Emergencia.
- Brigada de Mantenimiento
- Brigada de Servicios.
- Brigada de Vigilancia.

Capacitación y adiestramiento de los trabajadores.

En cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables (NOM-005-STPS-1993), publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de diciembre de 1993, la empresa capacitará teórica y prácticamente a sus empleados en la utilización y mantenimiento del sistema de gas y en la prevención y control de emergencias a través de un programa periódico de cursos obligatorios dirigidos en función de su trabajo específico en las instalaciones de la empresa. Los cursos propuestos así como temario tentativo se muestran en el cuadro V.1.3.1

Cuadro V.1.3.1 Programa de cursos para prevención y control de emergencias

NOMBRE DEL CURSO	DIRIGIDO A:	TEMAS
Operación de la Estación de Suministro de Gas L.P.	- Encargado - Supervisor - Empleados de mantenimiento - Chóferos de los vehículos repartidores.	I. Introducción. II. Características del gas L.P. III. Manejo del equipo. IV. Prevención y control de incendios de gas L.P. V. ¿Cómo manejar casos de emergencia?
¿ Cómo actuar en casos de emergencia?	Todos los empleados que laboren en las instalaciones de la empresa.	I. Introducción. II. Medidas preventivas. III. ¿Qué hacer en un desalojo? IV. ¿Qué hacer después de un desalojo?
Entrenamiento de Brigadas para casos de emergencia	- Coordinador General. - Brigada de Evacuación. - Brigada de Emergencias. - Brigada de Mantenimiento. - Brigada de Servicios. - Brigada de Vigilancia.	Formación de brigadas de emergencia. Unidad 1: conceptos sobre protección contra incendios. Unidad 2: operaciones de brigada sin emergencias. Unidad 3: operaciones de brigada en emergencias.

Prueba de la instalación.

Previamente al inicio de la etapa de operación de la estación de suministro de gas L.P. se probará neumáticamente toda la instalación a una presión de 1.175 Mpa (12 kg/cm²), durante 30 minutos, hasta encontrarla libre de fugas.

A partir del inicio de la operación, la instalación se revisará periódicamente con el mismo fin, así como para cerciorarse de que los soportes no están provocando esfuerzos en la tubería. Llenado a un nivel seguro del tanque de almacenamiento y depósitos montados en los vehículos.

El riesgo de descargar a la atmósfera líquido en lugar de vapor hace que el llenado de los tanques más allá de la densidad de llenado sea una práctica considerablemente peligrosa. Por esta razón, en el tanque de almacenamiento y los depósitos montados en los vehículos no se llenarán por ningún motivo más allá del nivel adecuado (85% de su capacidad).

Programa de mantenimiento calendarizado.

Se elaborará y pondrá en práctica un programa de mantenimiento calendarizado de la estación de suministro de gas L.P. En dicho programa se incluirán, entre otras, las siguientes actividades rutinarias:

Pintura del tanque y tuberías de la instalación con sus colores distintivos.

La corrosión es siempre un peligro en instalaciones a la intemperie por lo que éstas requieren inspecciones periódicas; el tanque de almacenamiento y tuberías se mantendrán siempre bien pintados como una medida de prevención de la corrosión.

Cambio de válvula de llenado.

En virtud de que el tanque de almacenamiento será llenado cada dos días, se reducirá la vida útil establecida por el fabricante, por lo que será sustituida con la frecuencia indicada por la compañía abastecedora de gas.

Prueba neumática de la instalación.

Se efectuará periódicamente la prueba de acuerdo a lo indicado en la prueba de la instalación.

Medidas de prevención de accidentes que pudieran afectar a la estación de suministro de gas L.P.

Desde el punto de vista de riesgo escaparía algo del contenido del tanque si se calentara demasiado. Es concebible que bajo condiciones de extremo calor, la presión interna pueda elevarse lo suficiente para reventar aún recipientes tan resistentes. Si esto sucediera, el contenido total del tanque sería liberado instantáneamente provocándose una "bola de fuego"

Una llama directa de alta intensidad sobre el cuerpo de un tanque de gas L.P. cuyo contenido de líquido haya escapado ya en forma de vapor, o en la zona del tanque correspondiente a la zona de vapor, cuyo tanque contenga algo de líquido, puede calentar el metal hasta que pierda su resistencia y se vuelva termoplástico. La presión interna puede entonces originar que el tanque se deforme y en algunos casos puede inclusive reventarse. No explotará solo se romperá bajo presión liberándose el contenido.

Por consiguiente, se evitará por todos los medios posibles que el tanque sea expuesto a temperaturas anormales elevadas. Analizando las condiciones de operación en el sitio se concluye que la única fuente posible de fuego cercana al tanque pudiera ser algún vehículo repartidor que se incendiara, lo cual podría ocurrir por dos causas accidentales:

1. Fuente impacto contra los muros de retención de la zona de protección.
2. Ignición del gas por causa de fuga en el mismo vehículo.

Las medidas que se llevarán a cabo para prevenir estos accidentes se describen a continuación:

1. No se permitirá el estacionamiento de vehículos en un radio de 30 m a partir del centro del tanque de almacenamiento. Para ello se pintará el límite en el suelo con una línea roja.

Esta medida tiene un doble objetivo. El primero es que de acuerdo con los cálculos efectuados anteriormente el radio de efecto máximo de una "bola de fuego" será de aproximadamente 30 m, por lo que no deben existir en esta área otros almacenamientos de gas (en este caso los depósitos montados en los vehículos) para evitar en su caso el efecto "dominó". El segundo objetivo es el de impedir que, aunque eventualmente se incendiara un vehículo por alguna causa imponderable, el fuego sea cercano al tanque.

2. No se permitirá la circulación de vehículos en una franja de 10 m de ancho a lo largo de la rampa de acceso a la zona de carga. Con esta medida se pretende evitar que transitando algún vehículo por la rampa tenga alguna falla en los frenos de manera que pudiera impactarse de frente o en reversa contra los muros de protección de la estación. Esta zona se pintará con franjas amarillas y negras y se colocarán los señalamientos correspondientes a la prohibición indicada.
3. Por ningún motivo se permitirá la descarga de producto con camiones pesados o trailers que tengan que transitar por la rampa de acceso a la zona de carga.

La descarga de producto se efectuará invariablemente en la zona señalada, lejos de la estación de suministro de gas L.P.

4. La instalación de gas en los vehículos repartidores y sus condiciones mecánicas en general se mantendrán en óptimo funcionamiento con el fin de evitar siniestros en dichos vehículos.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Conclusiones

El proyecto de estación de servicio de gas L.P. con almacenamiento fijo surgió de la necesidad de la empresa solicitante de contar con la infraestructura necesaria para responder al compromiso que tienen todos los sectores de la sociedad de participar en el control de la contaminación atmosférica en el Valle de México.

Considerando que las fuentes móviles constituyen la fuente más importante de emisión de gases y partículas suspendidas en el Valle de México, esta empresa ha puesto en marcha un programa ambiental para el control de las emisiones contaminantes en su flotilla de vehículos repartidores de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Dicho programa contempla la conversión de sus vehículos de combustión interna al empleo de gas L.P. como carburante, ya que tiene muchas ventajas entre las cuales pueden mencionarse las siguientes:

Se quema totalmente sin producir residuos; es un combustible limpio y controlable.

Reduce o elimina los gastos de reparación que se originan con el carbón y azufre que se acumula en los motores cuando se usa gasolina.

Comparado con otros combustibles, el gas L.P. permite una combustión libre de olor y con un mínimo de corrosión.

Debido a que se quema en los cilindros en estado gaseoso, no diluye el aceite del cárter

Bien carburado es muy seguro por producir mínimas cantidades de carbono en el escape.

Para llevar a cabo la conversión de sus vehículos se requiere contar con estaciones de suministro de gas carburante para uso exclusivo de la empresa, distribuidas estratégicamente en la Ciudad de acuerdo a las normas y regulaciones sobre uso de suelo; las Normas Oficiales Mexicanas relativas al almacenamiento y manejo del gas L.P., y considerando las condiciones de los sitios posibles en cuanto a su urbanización y seguridad de la gente y propiedades.

El proyecto de estación de servicio de gas L.P. se refiere a la construcción de una de las estaciones de suministro de gas carburante, que se requieren como parte del programa ambiental para el control de las emisiones contaminantes en la flotilla de vehículos repartidores de la empresa.

En la etapa de preparación del sitio y construcción se tendrán algunos impactos incidentales de pequeña magnitud e importancia menor, como la generación de ruido y polvo en un tiempo muy corto, de manera que las condiciones normales se restauraran completamente en dos semanas.

Dichas actividades se llevarán a cabo en el interior del predio bardeado, por lo que serán imperceptibles desde el exterior; en consecuencia puede considerarse que el impacto no será significativo.

El predio en donde se construirá la estación de suministro de gas L.P. se localiza en una zona de industria mediana y la obra no afectará a la población ni al paisaje urbano pues ya existen construcciones permanentes para uso industrial en el área del proyecto.

La estación de suministro representa un riesgo debido a las propiedades inflamables y explosivas del gas. Sin embargo, se contará con elementos e instalaciones que, al apearse a las normas y criterios de diseño y construcción existentes y a las medidas de mitigación, podrán prevenir un evento de liberación y los impactos potenciales que traería como consecuencia.

El diseño de la instalación ha sido realizado con apego a la reglamentación y normatividad vigente, y ha sido autorizado por la Dirección de Gas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, el equipo que se instalará ha sido escogido con calidad de Norma Oficial Mexicana (NOM); durante la operación se dará el mantenimiento adecuado a la instalación y el gas L.P. será manejado por personas capacitadas por la empresa.

Los modelos utilizados para este proyecto, son de suma importancia para cualquier identificación de falla en una estación de servicio de gas L.P., la aplicación de estos, en un estudio de riesgo ambiental pueden salvar vidas humanas; El cálculo de consecuencias permite en última instancia conocer las áreas de riesgo de los accidentes.

Se presentan límites superiores a los permisibles para la salud del hombre, afectaciones a sus bienes y al ambiente.

Bibliografía

UNAM, Facultad de Ingeniería. Riesgo Ambiental.

Normatividad para diseño y construcción de estaciones de servicio de gas L.P.

Norma Mexicana, NMX-1-1970. Gas licuado de petróleo

NMX-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.

Norma Oficial Mexicana, NOM-025-SCFI-1993. Estaciones de gas L.P., con almacenamiento fijo.- Diseño y construcción.

NOM-005-STPS-1993. Almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles.

SEDESOL. Serie Monográfica No. 1. Regulación y Gestión de productos Químicos en México enmarcados en el contexto Internacional. México D.F., Noviembre de 1992.

Technical, Ltd, techniques for Assessing Industrial Hazards. A Manual. Word Bank technical paper number 55. Washington D.C

Dirección General de Protección Civil, Guía Técnica, Métodos cualitativos para el análisis de riesgo. Edif. Imprenta Nacional del Boe. España. Primera edición, Diciembre de 1994.