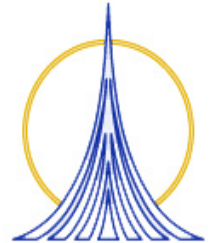


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
“ZARAGOZA”



DISTANCIAS DE AFECTACIÓN EN INDUSTRIAS DE ALTO RIESGO  
DEBIDO AL ALMACENAMIENTO DE AMONÍACO, CLORO Y  
GAS LICUADO DE PETRÓLEO

T E S I S

PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A:

**JUANA LORENA MORA FONSECA**

DIRECTORA: M en I CECILIA IZCAPA TREVIÑO

MÉXICO, D.F.

FEBRERO 2006



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.

## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a mis padres, Guadalupe Fonseca y Antonio Mora †, por todo su esfuerzo, apoyo, dedicación, comprensión y por todo el amor que me han brindado, gracias, este logro también es suyo.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios por todo lo que me ha dado.*

*A mis padres por todo su apoyo y amor, quiero decirles que los amo.*

*A mis hermanos Tomás, Nora, Andrea, Guadalupe, Felipe y Antonio, por todo su apoyo, quiero que sepan que los quiero mucho y espero que siempre estemos unidos.*

*A la Universidad Nacional Autónoma de México en especial a la "Facultad de Estudios Superiores Zaragoza" y a los maestros por su dedicación y entrega.*

*A mi asesora M. en I Cecilia Zzcapa Treviño, por su asesoría, dedicación, tiempo y paciencia, gracias.*

*Al Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), en especial al área de Riesgos Químicos al M en I. Ruben Darío Rivera, M en I. Ma. Esther Arcos, Ing. Lilitiana Bernabe y al Ing. Enrique Bravo por todo el apoyo que me brindaron.*

*Al jurado integrado por el Ing. René de la Mora Medina, Ing. Ismael Bautista López, M. en I Cecilia Zzcapa Treviño, Ing. Julio Félix Martínez Reyes e Ing. Presenciano Echavarieta Albitier, por su dedicación y comentarios.*

*A la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) por las facilidades brindadas para tener acceso a la información.*

*A mis amigas incondicionales Adalid, Gloriela y Daty, por estar conmigo en los momentos felices y tristes y por todos sus consejos, espero que esta amistad perdure para siempre.*

*A mis amigos y compañeros: Israel, Sixto, Andrés, Guadalupe, Daniel, Pedro y Lulu's, por todo el apoyo que me han brindado.*

*A ti por todo tu apoyo y cariño.*

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	3
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	5
<b>OBJETIVOS</b> .....	5
<b>CAPÍTULO 1 CLASIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS</b> .....	7
1.1 CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS.....	7
1.2 ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS PELIGROSAS .....	12
1.3 ACCIDENTES CON SUSTANCIAS PELIGROSAS .....	15
<b>CAPÍTULO 2 ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO</b> .....	19
2.1 ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS .....	19
2.2 ESTUDIO DE RIESGO .....	21
2.2.1 Información Contenida en el Estudio de Riesgo .....	24
2.3 PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES .....	26
2.3.1 Antecedentes Generales de la Empresa.....	27
2.3.2 Nivel Interno del Plan .....	28
2.3.3 Nivel Externo del Plan .....	28
2.4 ZONAS INTERMEDIAS DE SALVAGUARDA .....	30
<b>CAPÍTULO 3 FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS DE EVENTOS QUE INVOLUCRAN SUSTANCIAS PELIGROSAS</b> .....	33
3.1 FUGAS O DERRAMES DE SUSTANCIAS PELIGROSAS .....	34
3.2 EVAPORACIÓN DE LÍQUIDOS DERRAMADOS .....	35
3.3 DISPERSIÓN DE NUBES DE GASES, VAPORES YAEROSOLES .....	37
3.4 INCENDIO DE CHARCO O “POOL FIRE”.....	42
3.5 DARDO DE FUEGO O “JET FIRE” .....	45
3.6 EXPLOSIONES DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS “UVCE” .....	48
3.7 EXPLOSIÓN POR LA EXPANSIÓN DEL VAPOR DE UN LÍQUIDO EN EBULLICIÓN “BLEVE”.....	51
3.7.1 Bola de Fuego “Radiación Térmica”.....	53
3.7.2 Sobrepresión “Explosión Súbita del Vapor en Expansión” .....	55
3.7.3 Proyección de Fragmentos .....	56
<b>CAPÍTULO 4 PROCESOS DE PRODUCCIÓN, USOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA AMONIACO, CLORO Y GAS L.P</b> .....	59
4.1 AMONIACO .....	59
4.1.1 Generalidades .....	59
4.1.2 Usos.....	60
4.1.3 Almacenamiento de Amoniaco en México.....	60
4.1.4 Medidas de Seguridad .....	62
4.1.5 Atención de Emergencias .....	62
4.2 CLORO .....	64
4.2.1 Generalidades .....	64
4.2.2 Usos.....	65

4.2.3	Almacenamiento de Cloro en México .....	67
4.2.4	Medidas de Seguridad .....	69
4.2.5	Atención de Emergencias .....	69
4.3	<b>GAS LICUADO DE PETRÓLEO .....</b>	<b>70</b>
4.3.1	Generalidades .....	70
4.3.2	Usos .....	71
4.3.3	Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo en México .....	72
4.3.4	Medidas de Seguridad .....	73
4.3.5	Atención de Emergencias .....	73
 <b>CAPÍTULO 5 MODELOS MATÉMATICOS DE SIMULACIÓN .....</b>		<b>75</b>
5.1	ALOHA (AREAL LOCATION HAZARDOUS ATMOSPHERES).....	75
5.2	ARCHIE (AUTOMATED RESOURCE FOR CHEMICAL HAZARD INCIDENT EVALUATION) .....	77
5.3	SCRI (SIMULACIÓN DE CONTAMINACIÓN Y RIESGO EN INDUSTRIAS) .....	79
 <b>CAPÍTULO 6 DISTANCIAS DE AFECTACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN INDUSTRIAS DE ALTO RIESGO EN MÉXICO .....</b>		<b>83</b>
 <b>CAPÍTULO 7 DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS DE AFECTACIÓN MEDIANTE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN PARA AMONIACO, CLORO Y GAS LICUADO DE PETRÓLEO.....</b>		<b>89</b>
7.1	ESCENARIOS DE FUGA CONSIDERADOS .....	91
7.1.1	Amoniaco .....	91
7.1.2	Cloro .....	91
7.1.3	Gas Licuado de Petróleo.....	91
7.2	CONSIDERACIONES Y DATOS ALIMENTADOS A LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN.....	92
7.2.1	Formación de Nubes Tóxicas para Amoniaco y Cloro .....	92
7.2.1.1	<i>Programa de Simulación ALOHA.....</i>	<i>92</i>
7.2.1.2	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>93</i>
7.2.1.3	<i>Programa de Simulación SCRI .....</i>	<i>94</i>
7.2.2	Formación de Incendios y Explosiones para Gas Licuado de Petróleo.....	94
7.2.2.1	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>94</i>
7.2.2.2	<i>Programa de Simulación SCRI.....</i>	<i>95</i>
7.3	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LIBERACIÓN DE AMONIACO.....	95
7.3.1	Evento Catastrófico Tanque de 602 kg.....	95
7.3.1.1	<i>Programa de Simulación ALOHA.....</i>	<i>96</i>
7.3.1.2	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>97</i>
7.3.1.3	<i>Programa de Simulación SCRI .....</i>	<i>98</i>
7.3.2	Evento Alternativo Tanque de 602 kg.....	98
7.3.2.1	<i>Programa de Simulación ALOHA.....</i>	<i>99</i>
7.3.2.2	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>101</i>
7.3.2.3	<i>Programa de Simulación SCRI .....</i>	<i>102</i>
7.4	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LIBERACIÓN DE CLORO .....	102
7.4.1	Evento Catastrófico Tanque de 907 kg.....	102
7.4.1.1	<i>Programa de Simulación ALOHA.....</i>	<i>103</i>
7.4.1.2	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>103</i>
7.4.1.3	<i>Programa de Simulación SCRI .....</i>	<i>104</i>
7.4.2	Evento Alternativo Tanque de 907 kg.....	105
7.4.2.1	<i>Programa de Simulación ALOHA.....</i>	<i>105</i>
7.4.2.2	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>105</i>
7.4.2.3	<i>Programa de Simulación SCRI .....</i>	<i>106</i>
7.4.3	Evento Alternativo Tanque de 907 kg.....	107
7.4.3.1	<i>Programa de Simulación ALOHA.....</i>	<i>107</i>
7.4.3.2	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>108</i>
7.4.3.3	<i>Programa de Simulación SCRI .....</i>	<i>109</i>
7.5	RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LIBERACIÓN DE GAS LP. ....	109
7.5.1	Evento Catastrófico. "Explosión de Nube de Vapor" .....	109
7.5.1.1	<i>Programa de Simulación ARCHIE .....</i>	<i>110</i>

7.5.1.2	<i>Programa de Simulación SCRI</i> .....	112
7.5.2	Evento Alternativo .....	113
7.5.2.1	<i>Radiación por Bola de Fuego (BLEVE)</i> .....	113
7.5.2.2	<i>Incendio Flama Jet</i> .....	113
7.5.2.3	<i>Incendio de Nube de Vapor</i> .....	114
7.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	116
<b>CONCLUSIONES</b> .....		121
<b>ANEXO 1</b> .....		125
<b>ANEXO 2</b> .....		127
<b>ANEXO 3</b> .....		129
<b>ANEXO 4</b> .....		131
<b>ANEXO 5</b> .....		137
<b>ANEXO 6</b> .....		153
<b>GLOSARIO Y SIGLAS</b> .....		183
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....		187

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar las distancias de afectación en caso de un accidente para tres sustancias peligrosas amoniaco, cloro y gas licuado de petróleo, las cuales se eligieron porque representan mayor importancia en el país debido a su peligrosidad, sus grandes volúmenes de almacenamiento y a que se encuentran presentes en todas las entidades federativas, además que permiten representar los eventos que pueden ocurrir como son incendio, explosión y la formación de nubes tóxicas. Para cada sustancia se simularon diferentes eventos que pudieran presentarse empleando los programas de simulación ALOHA, ARCHIE y SCRI.

La finalidad de determinar las distancias de afectación del amoniaco, cloro y gas licuado de petróleo es que las unidades estatales y municipales de protección civil, conozcan qué distancias de afectación se podrían alcanzar con estas sustancias para determinados procesos o giros industriales que las manejen y saber hacia dónde dirigir la atención para la vigilancia; predecir el probable comportamiento de las sustancias y poder estimar el número de personas que estarían involucradas en caso de un accidente, así como prevenirse y planear cómo responder ante una emergencia llevando a cabo las acciones inmediatas de control para minimizar los daños a la población, al ambiente y a las instalaciones.

En este trabajo se simularon dos eventos para cada sustancia, un evento catastrófico en el cual se libera el total de la masa contenida en el tanque de almacenamiento y un evento alternativo que es aquel que es más probable que se presente, para determinar este escenario se tomó en cuenta la información contenida en los estudios de riesgo que se analizaron en la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, presentados por las industrias consideradas de alto riesgo.

Para el amoniaco y cloro se simuló dispersión de nubes tóxicas con los modelos matemáticos ALOHA, ARCHIE y SCRI. En el caso del gas licuado de petróleo se simuló incendio con el modelo ARCHIE ya que es el único que lo modela de los tres programas y para una explosión se simuló con los programas ARCHIE y SCRI.

Se concluye que para simular dispersión de nubes tóxicas el programa más completo es ALOHA, por los datos que requiere el programa en el que se consideran las propiedades fisicoquímicas de la sustancia, condiciones a la que se encuentra almacenada la sustancia, condiciones atmosféricas del lugar de la emisión, datos de la fuente, donde se consideran tipo de tanque, longitud y diámetro, así como los datos del orificio donde se produce la fuga como es diámetro y altura a la que se encuentra en el tanque.

En el caso de gas licuado de petróleo se simuló incendio (bola de fuego, dardo de fuego e incendio de nube de vapor) con el programa ARCHIE ya que es el único que modela este evento. Para explosión se utilizó el modelo ARCHIE y SCRI y se sugiere que se utilice el modelo ARCHIE ya que los datos que se alimentan al programa son más completos con respecto al SCRI.

Es importante señalar que para determinar cuál modelo de simulación representa mejor a la realidad, se necesita llevar a cabo trabajo de campo o de laboratorio para comparar la realidad con los datos obtenidos de la simulación, o bien comparar los resultados calculados con los programas de simulación con los datos obtenidos a partir de accidentes reales.



## INTRODUCCIÓN

Durante el periodo 1993-2002, se registraron en nuestro país un promedio anual de 521 accidentes que involucran sustancias peligrosas como son hidrocarburos (petróleo crudo, gasolina, diesel, combustóleo, gas natural y gas L.P) que representan el 69.8% del total de las emergencias ambientales, otras sustancias frecuentes son: amoníaco, ácido sulfúrico, solventes orgánicos, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y cloro. La mayor parte de estas emergencias ambientales ocurren durante el transporte y en menor medida en instalaciones industriales fijas. En relación al transporte, la mayor incidencia se presenta en ductos, seguido por el transporte vía carretera, ferroviario, marítimo y otros medios.

No obstante que la mayoría de los accidentes ocurren en el transporte los daños a la población y las pérdidas materiales son mayores en los accidentes ocurridos en las instalaciones industriales.

Los accidentes con sustancias peligrosas que se presentan en instalaciones industriales en la mayoría de los casos se producen por la pérdida de contención en tanques, tuberías, reactores, válvulas, bombas, etc., que almacenan y transportan productos en forma gaseosa o líquida, lo cual da lugar a que se presenten fugas (gases) y derrames (líquidos) en más del 80% de los casos que pueden dar lugar a la formación de nubes tóxicas y/o inflamables, siguiéndole en orden de importancia, los incendios, las explosiones, siendo estos los eventos más frecuentes dependiendo de la sustancia involucrada.

Los diversos accidentes químicos se encuentran ligados al gran desarrollo industrial que está asociado al aumento del número y del tamaño de nuevas industrias, así como el consiguiente incremento de los inventarios de sustancias químicas en su mayoría peligrosas.

Debido a esto aumenta la probabilidad de que ocurran accidentes los cuales dan lugar a la formación de nubes tóxicas, incendios o explosiones, ocasionando un fuerte impacto sobre las personas, el medio ambiente y los bienes.

En nuestro país las industrias que realizan actividades altamente peligrosas están obligadas por Ley a realizar un Estudio de Riesgo Ambiental en el cual se determinan las posibles causas que darían origen a un accidente y las distancias de afectación que se tendrían en caso de ocurrir éste.

A partir de la revisión y evaluación de este estudio las autoridades de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) determinan a la industria la necesidad de elaborar un Programa de Prevención de Accidentes donde desarrollan las medidas de prevención y atención en caso de emergencias, ya sea que esta ocurra dentro de sus instalaciones o bien afecte a los alrededores de ésta.

Es de gran importancia determinar las distancias de afectación que podrían provocar las sustancias peligrosas en caso de ocurrir un evento químico, debido a que actualmente muchas zonas industriales en nuestro país se encuentran rodeadas de asentamientos humanos los cuales no prevén distancias de seguridad, de tal suerte que el crecimiento de los centros de población ha sido generalmente en forma desordenada, sin ninguna planeación ni respetando las disposiciones y regulaciones sobre uso de suelo, zonas de reserva ecológica, zonas vulnerables a ciertos fenómenos naturales y demás consideraciones establecidas en los Programas de Desarrollo Urbano.

El conocimiento de las sustancias que están involucradas en las emergencias, resulta de vital importancia por múltiples razones: porque se pueden optimizar recursos para su atención; orientar los programas de capacitación y definir las acciones inmediatas de control para minimizar los daños al ambiente y a la población.

Actualmente existen programas de simulación mediante los cuales se pueden determinar las distancias de afectación en caso de dispersión de nubes de contaminantes tóxicos, incendios de nube de vapor, flama jet y bola de fuego, así como explosión de nube de vapor, estos programas requieren la introducción de diferentes propiedades fisicoquímicas de la sustancia involucrada, consideraciones específicas de la liberación del contaminante y condiciones meteorológicas del lugar donde ocurre el evento. Para llevar a cabo estas simulaciones, es necesario establecer los posibles eventos que pueden presentarse en cada caso.

Las sustancias seleccionadas para este trabajo son el amoniaco, el cloro y el gas licuado de petróleo, las cuales se almacenan en grandes volúmenes en México, se emplean en varios procesos industriales y están involucradas en el mayor número de accidentes.

El cloro y el amoniaco son sustancias muy tóxicas para la salud humana ocasionan severa irritación en ojos, piel, las membranas mucosas y las vías respiratorias. El amoniaco causa desde tos hasta edema pulmonar y el daño va de eritema a severas quemaduras. El cloro causa lagrimeo, rinorrea, náusea, vómito, dolor de cabeza, mareo y dermatitis, exposiciones altas producen conjuntivitis, edema pulmonar e inclusive la muerte. La severidad del daño depende de la concentración y del tiempo de exposición a ambas sustancias. Siendo mayor la toxicidad del cloro que del amoniaco.

El gas licuado de petróleo es una sustancia extremadamente inflamable, se prende fácilmente por calor, chispa o flama y forma mezclas explosivas con el aire. Los vapores pueden causar asfixia por desplazamiento de oxígeno aunque no es tóxico.

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo son sustancias peligrosas que se encuentran almacenadas en varias entidades federativas de nuestro país, las cuales se almacenan en grandes volúmenes, lo que representa un peligro para la población, ya que en las cercanías de la mayoría de las industrias existen asentamientos humanos y en caso de ocurrir un accidente mayor cuyas consecuencias salgan de los límites de propiedad de las empresas, podrían causar daños a la población, al medio ambiente y a los bienes.

Por esta razón es importante determinar las posibles distancias de afectación de estas tres sustancias en caso de presentarse un accidente como puede ser: incendio, explosión o formación de nubes tóxicas en industrias de alto riesgo en México, ya que actualmente las zonas industriales en nuestro país se encuentran rodeadas de asentamientos humanos los cuales no prevén distancias de seguridad, debido a que el crecimiento de los centros de población en el país ha sido generalmente en forma desordenada, sin ninguna planeación ni respetando las disposiciones y regulaciones sobre uso de suelo, establecidas en los Programas de Desarrollo Urbano.

Se pretende que las unidades estatales y municipales de protección civil, conozcan qué distancias de afectación se podrían alcanzar en caso de un accidente que involucre alguna de estas sustancias empleadas en determinados procesos o giros industriales, para de esta manera poder estimar el número de personas que estarían involucradas en caso de un accidente y planear cómo responder ante una emergencia.

## OBJETIVOS

- 1) Obtener la información sobre distancias de afectación de amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo a partir de los Estudios de Riesgo y los Programas para la Prevención de Accidentes (PPA's) que presentan las industrias de alto riesgo para su revisión y aprobación ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- 2) Establecer los escenarios catastrófico y alternativo más representativos en caso de que ocurra un accidente que implique la liberación de amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo.
- 3) Estimar las distancias de afectación para amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo mediante el empleo de programas de simulación como son ALOHA, ARCHIE y SCRI en caso de ocurrir un accidente que den lugar a la formación de nubes tóxicas, incendios o explosiones.
- 4) Comparar las distancias de afectación obtenidas mediante los modelos de simulación ALOHA, ARCHIE y SCRI con las reportadas por las industrias de alto riesgo en México que almacenan amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo.
- 5) Recomendar las probables distancias de afectación en caso de formación de nubes tóxicas, incendio o explosión obtenidas con los modelos de simulación para diferentes escenarios de accidentes en industrias más representativas que almacenan amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo.

## CAPÍTULO 1

### CLASIFICACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS

#### 1.1 CLASIFICACIÓN DE SUSTANCIAS QUÍMICAS PELIGROSAS

Se define como sustancia peligrosa a aquella sustancia en estado líquido, sólido o gaseoso que por su naturaleza, puede producir daños momentáneos o permanentes en la salud humana, animal o vegetal y a elementos materiales como instalaciones, maquinarias, edificios, etc. Los criterios que normalmente definen la peligrosidad de una sustancia química constituyen una propiedad inherente o intrínseca que las puede hacer corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas o inflamables [1].

Cuando se presenta un accidente químico en el que se libera una sustancia peligrosa al ambiente ya sea durante su transporte o en almacenamiento, el accidente puede manejarse más rápidamente y mejor cuando la sustancia involucrada está debidamente identificada y caracterizada.

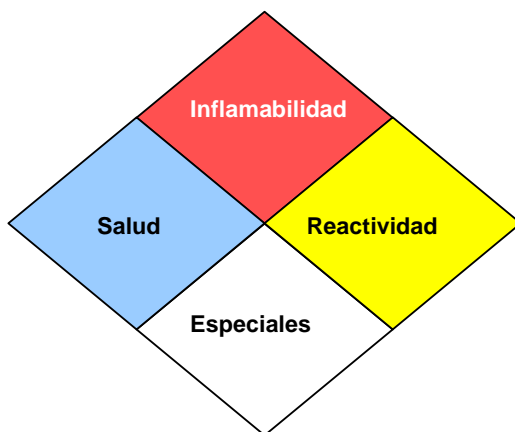
El contar con un sistema de clasificación de sustancias es importante y necesario, ya que proporciona información de manera inmediata sobre los peligros que representa una sustancia en caso de un accidente. Esto permite reaccionar ante la emergencia de forma adecuada y segura.

En México, la clasificación de sustancias químicas peligrosas en instalaciones se hace de acuerdo a la norma NOM-018-STPS-2000 "Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo". En esta norma se establece la forma de identificación y clasificación de las sustancias. Las propiedades que toma en cuenta son daños a la salud, inflamabilidad y radiactividad, dándole valores en una escala de 0 a 4 para indicar el grado de peligro que presentan, siendo 4 el de mayor peligro.

Este sistema establece dos opciones de identificación, una en forma de rombo y otra de rectángulo, el modelo rombo coincide completamente con el sistema de identificación de materiales peligrosos establecido por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (National Fire Protection Association NFPA) en el estándar NFPA 704, mientras que el modelo rectángulo concuerda con el Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos HMIS por sus siglas en inglés (Hazardous Materials Identification System) desarrollado por la Asociación Nacional de Pinturas y Recubrimientos, ambos sistemas fueron desarrollados en los Estados Unidos.

Los siguientes colores y criterios de clasificación se emplean para ambas formas:

Salud	Azul
Inflamabilidad	Rojo
Reactividad	Amarillo
Blanco	Especiales



A continuación se presentan los criterios de clasificación para ambos modelos de identificación contenidos en la norma NOM-018-STPS-2000 “Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo” [2]:

**Tabla 1.3 Criterios de clasificación de grados de riesgo a la salud (modelo rombo)**

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	Sustancias que bajo condiciones de emergencia, pueden ser letales. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL<sub>50</sub> de toxicidad aguda por inhalación sea menor o igual a 1,000 ppm</li> <li>• Cualquier líquido cuya concentración de vapor saturado a 20°C sea igual o mayor que diez veces su CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación, siempre y cuando su CL<sub>50</sub> sea menor o igual a 1,000 ppm</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación sea menor o igual a 0.5 mg/l</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad dérmica aguda sea menor o igual a 40 mg/kg</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad oral aguda sea menor o igual a 5 mg/kg</li> </ul>

3	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, pueden causar daños serios o permanentes. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL<sub>50</sub> de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 1,000 ppm, pero menor o igual a 3,000 ppm</li> <li>• Cualquier líquido cuya concentración de vapor saturado a 20°C sea igual o mayor que su CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación, siempre y cuando su CL<sub>50</sub> sea menor o igual a 3,000 ppm y que no cumpla los criterios para el grado de peligro 4.</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 0.5 mg/l, pero menor o igual a 2 mg/l</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 40 mg/kg, pero menor o igual a 200 mg/kg</li> <li>• Sustancias que son corrosivas al tracto respiratorio</li> <li>• Sustancias que son corrosivas a los ojos o que causen opacidad irreversible de la córnea.</li> <li>• Sustancias que son severamente irritantes y/o corrosivas para la piel.</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad oral aguda sea mayor que 5 mg/kg, pero menor o igual a 50 mg/kg</li> </ul>
2	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, pueden causar incapacidad temporal o daño residual. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases cuya CL<sub>50</sub> de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 3,000 ppm, pero menor o igual a 5,000 ppm</li> <li>• Cualquier líquido cuya concentración de vapor saturado a 20°C sea igual o mayor a un quinto de su CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación, siempre y cuando su CL<sub>50</sub> sea menor o igual a 5,000 ppm y que no cumpla los criterios para los grados de peligro 3 o 4.</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 2 mg/l y menor o igual a 10 mg/l</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 200 mg/kg, y menor o igual a 1,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias que sean irritantes al tracto respiratorio</li> <li>• Sustancias que causan irritación reversible en los ojos</li> <li>• Sustancias que sean irritantes primarios de la piel o sensibilizador</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad oral aguda sea mayor que 50 mg/kg, y menor o igual a 500 mg/kg.</li> </ul>
1	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia pueden causar irritación significativa. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases y vapores cuya CL<sub>50</sub> de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 5,000 ppm, y menor o igual a 10,000 ppm</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 10 mg/l, y menor o igual a 200 mg/l</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 1,000 mg/kg, y menor o igual a 2,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias que sean ligeramente irritantes al tracto respiratorio, ojos y piel</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad oral aguda sea mayor que 500 mg/kg, y menor o igual a 2,000 mg/kg</li> </ul>
0	<p>Sustancias que bajo condiciones de emergencia, no ofrecen mayor peligro que el de los materiales combustibles ordinarios. Los siguientes criterios deben considerarse en la clasificación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases y vapores cuya CL<sub>50</sub> de toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 10,000 ppm</li> <li>• Polvos y neblinas cuya CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación sea mayor que 200 mg/l</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad dérmica aguda sea mayor que 2,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias cuya DL<sub>50</sub> para toxicidad oral aguda sea mayor que 2,000 mg/kg</li> <li>• Sustancias no irritantes del tracto respiratorio, ojos y piel</li> </ul>

Fuente: NOM-018-STPS-2000

**Tabla 1.4 Criterios de clasificación de grados de riesgo a la salud (modelo rectángulo)**

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	<p>Severamente peligroso. Por una o repetidas exposiciones puede amenazar la vida o causar un daño mayor o permanente. Corrosivo, con efectos irreversibles en la piel; extremadamente irritante y que persiste por más de 7 días.</p> <p>Concentraciones:            Oral; DL<sub>50</sub> rata: hasta 1 mg/kg            Piel; DL<sub>50</sub> conejo o rata: hasta 20 mg/kg            Inhalación; CL<sub>50</sub> rata: hasta 0.2 mg/l o hasta 20 ppm</p>
3	<p>Seramente peligroso. Lesión grave probablemente de atención rápida y tratamiento médico. Muy irritante o con efectos reversibles en piel o córnea (opacidad) que persisten por más de 7 días.</p> <p>Concentraciones:            Oral; DL<sub>50</sub> rata: mayor que 20 hasta 50 mg/kg            Piel; DL<sub>50</sub> conejo: mayor que 20 hasta 200 mg/kg            Inhalación; CL<sub>50</sub> rata: mayor que 0.2 hasta 2 mg/l o mayor que 20 hasta 200 ppm</p>
2	<p>Moderadamente peligroso. Puede ocasionar una lesión temporal o menor. Moderadamente irritante, reversible dentro de los primeros 7 días.</p> <p>Concentraciones:            Oral; DL<sub>50</sub> rata: mayor que 50 hasta 500 mg/kg            Piel; DL<sub>50</sub> conejo o rata: mayor que 200 hasta 1,000 mg/kg            Inhalación; CL<sub>50</sub> rata: mayor que 2 hasta 20 mg/l o mayor que 200 hasta 1,000 en ppm</p>
1	<p>Ligeramente peligroso. Irritación o posible lesión reversible. Ligeramente irritante, reversible dentro de los primeros 7 días.</p> <p>Concentraciones:            Oral; DL<sub>50</sub> rata: mayor que 500 hasta 5,000 mg/kg            Piel; DL<sub>50</sub> conejo o rata: mayor que 1,000 hasta 5,000 mg/kg            Inhalación; CL<sub>50</sub> rata: mayor que 20 hasta 200 mg/l o mayor que 2,000 hasta 10,000 en ppm</p>
0	<p>Mínimamente peligroso. No significa un riesgo para la salud. Esencialmente no irritante.</p> <p>Concentraciones:            Oral; DL<sub>50</sub> rata: mayor que 5,000 mg/kg            Piel; DL<sub>50</sub> conejo o rata: mayor que 5,000 mg/kg            Inhalación; CL<sub>50</sub> rata: mayor que 200 mg/l o mayor que 10,000 ppm</p>

Fuente: NOM-018-STPS-2000

\*CL<sub>50</sub> para toxicidad aguda por inhalación: Concentración de vapor, polvo o neblina el cual administrado por inhalación continua durante 1 hora causa la muerte al 50% de la población de ratas albinas expuesta dentro de los 14 días siguientes. Se expresa como mg/l (miligramos por litro de aire) o mg/m<sup>3</sup> de aire (ppm).

\*DL<sub>50</sub> para toxicidad aguda oral: Dosis de la sustancia administrada que causa la muerte al 50% de la población de ratas albinas expuesta, dentro de los 14 días siguientes. Se expresa como mg/kg (miligramos por kilogramo de peso corporal).

\*DL<sub>50</sub> para toxicidad dérmica aguda: Dosis de la sustancia administrada por contacto continuo con la piel de los conejos albinos durante 24 horas que causa la muerte al 50% de los animales en experimentación en los siguientes 14 días. Se expresa como mg/kg (miligramos por kilogramo de peso corporal).

**Tabla 1.5 Criterios de clasificación de grados de riesgo de inflamabilidad (modelo rectángulo y rombo)**

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	<p>Sustancias que vaporizan rápida o completamente a presión atmosférica y a temperatura ambiente o que se dispersan con facilidad en el aire y que arden fácilmente, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Gases inflamables.</li> <li>• Sustancias criogénicas inflamables.</li> <li>• Cualquier líquido o sustancia gaseosa que es líquida mientras está bajo presión, y que tiene un punto de ignición por debajo de 22.8°C (73°F) y un punto de ebullición por debajo de 37.8°C (100°F).</li> <li>• Sustancias que arden cuando se exponen al aire.</li> <li>• Sustancias que arden espontáneamente.</li> </ul>
3	<p>Líquidos y sólidos que pueden arder bajo casi todas las condiciones de temperatura ambiente, éstos incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquidos que tienen un punto de ignición por debajo de 22.8°C (73°F) y un punto de ebullición igual o mayor que 37.8°C (100°F), y aquellos líquidos que tienen un punto de ignición igual o mayor que 22.8°C (73°F) y un punto de ebullición por debajo de 37.8°C (100°F).</li> <li>• Sustancias que de acuerdo a su forma física o a las condiciones ambientales pueden formar mezclas explosivas con el aire y que se dispersan con facilidad en el aire.</li> <li>• Sustancias que se queman con extrema rapidez, porque usualmente contienen oxígeno.</li> </ul>
2	<p>Sustancias que deben ser moderadamente calentadas o expuestas a temperaturas ambiente relativamente altas, antes de que pueda ocurrir la ignición. Las sustancias en este grado de clasificación no forman atmósferas peligrosas con el aire bajo condiciones normales, pero bajo temperaturas ambiente elevadas o bajo calentamiento moderado, podrían liberar vapor en cantidades suficientes para producir atmósferas peligrosas con el aire, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Líquidos que tienen un punto de ignición igual o mayor que 37.8°C (100°F) y por debajo de 93.4°C (200°F).</li> <li>• Sustancias sólidas en forma de polvo que se queman con facilidad, pero que generalmente no forman atmósferas explosivas con el aire.</li> <li>• Sustancias sólidas en forma de fibras que se queman con facilidad y crean peligro de fuego, como el algodón, henequén y cáñamo.</li> <li>• Sólidos y semisólidos que despiden fácilmente vapores inflamables.</li> </ul>
1	<p>Sustancias que deben ser precalentadas antes de que ocurra la ignición requieren un precalentamiento considerable bajo todas las condiciones de temperatura ambiente, antes de que ocurra la ignición y combustión, éstas incluyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sustancias que se quemarán en el aire cuando se expongan a una temperatura de 815.5°C (1500°F) por un periodo de 5 minutos o menos.</li> <li>• Líquidos, sólidos y semisólidos que tengan un punto de ignición igual o mayor que 93.4°C (200°F).</li> <li>• Líquidos con punto de ignición mayor que 35°C (95°F) y que no sostienen la combustión cuando son probados usando el Método de Prueba para Combustión Sostenida.</li> <li>• Líquidos con punto de ignición mayor que 35°C (95°F) en una solución acuosa o dispersión en agua con líquido/sólido no combustible en contenido de más de 85% por peso.</li> <li>• Líquidos que no tienen punto de fuego cuando son probados por el método ASTM D 92, Standard Test Method for Flash Point and Fire Point by Cleveland Open Cup, hasta el punto de ebullición del líquido o hasta una temperatura en la cual la muestra bajo prueba presenta un cambio físico evidente.</li> <li>• La mayoría de las sustancias combustibles ordinarias.</li> </ul>
0	<p>Sustancias que no se queman, éstas incluyen cualquier material que no se quema cuando sea expuesto a una temperatura de 815.5°C (1,500°F), durante un periodo de 5 minutos.</p>

Fuente: NOM-018-STPS-2000

\*Punto de Ignición o temperatura de inflamación: es la temperatura mínima a la cual los materiales combustibles o inflamables desprenden una cantidad suficiente de vapores para formar una mezcla inflamable, la cual se enciende aplicando una fuente de ignición, pero que no es suficiente para sostener una combustión.



**Tabla 1.6 Criterios de clasificación de grados de riesgo de reactividad (modelos rectángulo y rombo)**

Grado de riesgo	Característica de la sustancia química peligrosa
4	Sustancias que por sí mismas con facilidad son capaces de detonar o sufrir una detonación explosiva o reacción explosiva a temperaturas y presiones normales, se incluye a los materiales que son sensibles al choque térmico o al impacto mecánico a temperatura y presión normales. <ul style="list-style-type: none"> <li>Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo (producto del calor de reacción y rapidez de reacción) a 250°C (482°F) de 1,000 W/ml o mayor.</li> </ul>
3	Sustancias que por sí mismas son capaces de detonación o descomposición o reacción explosiva, pero que requieren una fuente de iniciación o que deben ser calentadas bajo confinamiento antes de su iniciación, éstas incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C (482°F) igual o mayor que 100 W/ml y por debajo de 1,000 W/ml.</li> <li>Sustancias que son sensibles al choque térmico o impacto mecánico a temperaturas y presiones elevadas.</li> <li>Sustancias que reaccionan explosivamente con el agua sin requerir calentamiento o confinamiento.</li> </ul>
2	Sustancias que sufren con facilidad un cambio químico violento a temperaturas y presiones elevadas, éstas incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C (482°F) igual o mayor que 10 W/ml y por debajo de 100 W/ml.</li> <li>Sustancias que reaccionan violentamente con el agua o forman mezclas potencialmente explosivas con el agua.</li> </ul>
1	Sustancias que por sí mismas normalmente son estables, pero que pueden convertirse en inestables a temperaturas y presiones elevadas, éstas incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C (482°F) igual o mayor de 0.01 W/ml y por debajo de 10 W/ml.</li> <li>Sustancias que reaccionan vigorosamente con el agua, pero no violentamente.</li> <li>Sustancias que cambian o se descomponen al exponerse al aire, la luz o la humedad.</li> </ul>
0	Sustancias que por sí mismas normalmente son estables, aun bajo condiciones de fuego, éstas incluyen: <ul style="list-style-type: none"> <li>Sustancias que tienen una densidad de poder instantáneo a 250°C (482°F) por debajo de 0.01 W/ml.</li> <li>Sustancias que no reaccionan con el agua.</li> <li>Sustancias que no exhiben una reacción exotérmica a temperaturas menores o iguales a 500°C (932°F) cuando son probadas por calorimetría diferencial.</li> </ul>

Fuente: NOM-018-STPS-2000

\*Densidad de poder instantáneo se calcula como el producto de la entalpía de descomposición/reacción por la rapidez inicial de reacción, determinada a 250°C (482°C). Esta valor representa la cantidad de calor por unidad de tiempo por unidad de volumen (W/mL) que inicialmente dará una sustancia a 250°C (480°F). Se expresa en Watts por mililitro (W/mL).

Cabe señalar que para el autotransporte y transporte ferroviario, la identificación y clasificación de las unidades y de los materiales peligrosos transportados se realiza con base en el Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos, y la normatividad correspondiente, emitidos por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

## 1.2 ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS

El almacenamiento consiste en el conjunto de recintos y recipientes que contengan o puedan contener productos químicos, incluyendo los recipientes propiamente dichos, los diques de contención, las calles o pasillos intermedios de circulación y separación, las tuberías de conexión, y las zonas e instalaciones de carga, descarga y trasiego anexas, y otras instalaciones necesarias para el almacenamiento, siempre que sean exclusivas del mismo.

Debido a la peligrosidad en el manejo con los productos químicos, se han adaptado una serie de precauciones básicas al diseñar el área de un almacenamiento para que no se produzcan accidentes, como son las siguientes [3]:

- El suelo debe ser resistente a las sustancias que se van almacenar.
- En el caso de que el almacenamiento sea mayor a 500 litros, es conveniente que tenga un desnivel hacia una zona de drenaje, segura y accesible, para evitar la permanencia de cualquier sustancia dentro del mismo en caso de derrame.
- Todos los tanques y recipientes deberán estar perfectamente etiquetados, serán de materiales adecuados y homologados mediante la realización en fábrica de las pruebas correspondientes. Las etiquetas aportan información básica (NOM-018 STPS-2000) que es importante para organizar el almacenamiento.
- La iluminación debe ser correcta.
- Dentro del área de almacenamiento debe figurar una nota con normas básicas de seguridad, teléfonos de urgencia, peligrosidad de las sustancias, etc.
- Todos los lugares de almacenamiento deben estar correctamente señalizados con las correspondientes señales de advertencia, de obligación (utilización de equipos de protección personal) y de prohibición (acceso restringido, no fumar).
- Los lugares donde se almacenan sustancias químicas deben estar frescos, lejos de cualquier fuente de calor excesivo o ignición. Deben mantenerse limpios y secos. Cuando se trate de sustancias inflamables, debe haber ventilación que evite acumulación de vapores.
- Es conveniente mantener un inventario mínimo de productos químicos en almacenamiento.
- Debe realizarse un programa de inspección y mantenimiento de los tanques de almacenamiento para evitar que se presenten fugas.

Los tanques para almacenamiento de sustancias químicas pueden ser de los siguientes tipos:

SEGÚN PRESIÓN	SEGÚN UBICACIÓN
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanques atmosféricos</li> <li>• Tanques a presión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interiores / exteriores</li> <li>• Aéreos / subterráneos</li> </ul>

Los tanques atmosféricos no se usan para almacenar líquidos a su temperatura de ebullición o superior. Los recipientes a presión pueden usarse como tanques a baja presión y ambos como tanques atmosféricos.

**Tanques atmosféricos:** Un tanque de almacenamiento atmosférico es cualquier depósito diseñado para operar a presiones internas máximas de aproximadamente la presión atmosférica (14.7 lb/pulg<sup>2</sup>). Pueden estar abiertos a la atmósfera o cerrados. Generalmente, los tanques atmosféricos son del tipo cilíndrico vertical con fondo relativamente plano al nivel del terreno, ya que representan el menor costo.

Los tanques atmosféricos se emplean para almacenar sustancias como diésel, gasolina, combustóleo y aceite lubricante.

**Tanques a presión:** Los tanques de almacenamiento a presión se diseñan para funcionar a presiones internas superiores a la presión atmosférica, generalmente mayores a 1.05 kg/cm<sup>2</sup> manométricas. La fuerza de la presión que actúa contra el techo se transmite al cuerpo del tanque, que puede tener un peso suficiente para resistirla. Si no es así, la fuerza ascendente actuará sobre el fondo del tanque. Sin embargo, la resistencia del fondo es limitada y si no es suficiente será

necesario utilizar un anillo de anclaje o una cimentación fuerte. A medida que aumenta la presión se hace necesaria la curvatura en todas las superficies. De manera que se pueden construir tanques en forma de esferas, elipsoides, estructuras toroidales y cilindro circulares con cabezas torisféricas, elipsoidales o hemisféricas [4].

Los tanques a presión generalmente son de los tipos esféricos o cilíndricos horizontales, y se emplean para almacenar por ejemplo hidrocarburos muy ligeros, que a presión atmosférica se encuentran en estado gaseoso, tales como el propano, butano, propileno y amoníaco.

**Tanques aéreos:** Los tanques aéreos se ubican sobre el nivel del suelo. Los tipos de tanques son muy variados.

**Tanques subterráneos:** Los tanques subterráneos como su nombre lo indica se ubican por debajo de la superficie del suelo. Estos tanques deben estar emplazados en un suelo bien drenado. El contenedor debe estar colocado de preferencia en un foso revestido de hormigón o ladrillo que permita su instalación y relleno seguros y facilite el acceso para las inspecciones.

### Almacenamiento de cloro

En función de las cantidades de cloro a almacenar, se emplean las siguientes formas de almacenamiento:

CANTIDAD	TIPO DE ALMACENAMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 50 – 1,250 kg.</li> <li>• De 1,250 a 60,000 kg.</li> <li>• Cantidades superiores a 60,000 kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes móviles (botellas y botellones)</li> <li>• Recipientes fijos, semimóviles o móviles.</li> <li>• Recipientes fijos.</li> </ul>

Los recipientes móviles sin vigilancia permanente se deben almacenar en edificios cerrados con sistemas de detección de cloro, alarma e indicación externa, y ventilación hacia una unidad de absorción de cloro.

Los almacenamientos vigilados permanentemente podrán ubicarse tanto al aire libre como en edificio cerrado, siempre con equipos o herramientas para contención de fugas e instalación de absorción. Los depósitos deben estar protegidos de la radiación solar (pintura clara o protección con forro o cubierta).

Almacenamiento en depósitos móviles:

- Botellas y botellones de gases comprimidos, licuados y disueltos a presión.
- Alejados de toda fuente de calor que puedan provocar temperaturas superiores a 50°C.
- No se podrán almacenar en local junto a productos inflamables o combustibles.
- Si es local cerrado, debe disponer de dos accesos opuestos y apertura hacia el exterior, con ventilación hacia la instalación de absorción de cloro [5].

### Almacenamiento de amoníaco anhidro

1. Almacenamiento refrigerado.- Es aquél en el cual la temperatura del amoníaco anhidro es aproximadamente -33 °C, con presión prácticamente igual a la atmosférica.

2. Almacenamiento semirrefrigerado.- Es aquél en el cual la temperatura del amoníaco es sensiblemente superior a  $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pero inferior a la temperatura ambiente, con presión superior a la atmosférica.
3. Almacenamiento no refrigerado.- Es aquél en el cual la temperatura máxima que puede alcanzar el amoníaco anhidro es igual a la máxima temperatura ambiente, con presión muy superior a la atmosférica [6].

### Almacenamiento de gas licuado de petróleo

En México el almacenamiento de gas licuado de petróleo se lleva a cabo conforme a la norma NOM-001-SEDG-1996 Plantas para almacenamiento para Gas L.P. Diseño y construcción.

Se emplean tanques cilíndricos horizontales generalmente de 125,000, 250,000 y 500,000 litros de agua de capacidad.

### 1.3 ACCIDENTES CON SUSTANCIAS PELIGROSAS

Los accidentes ocurridos en México en los últimos años, los cuales se presentan en la tabla 1.1, dan una idea clara de las enormes proporciones que puede tomar una emergencia asociada con sustancias peligrosas, cuyas consecuencias en la mayor parte de los casos, se traducen en pérdidas humanas, afectaciones al medio ambiente y/o pérdidas materiales; cuando no se toman las medidas de prevención apropiadas y no se está preparado para responder rápida y eficazmente ante esta clase de eventos.

**Tabla 1.1. Accidentes industriales de gran magnitud ocurridos en México**

SUSTANCIA	EVENTO	LUGAR	AÑO	EMPRESA
Fosgeno	Fuga	Poza Rica, Veracruz	1950	
Petróleo	Incendio y derrame	Sonda de Campeche	1979	Pozo Ixtoc
Gas L.P	Explosión e incendio	San Juan Ixhuatepec, Estado de México	1984	PEMEX
Agroquímicos	Incendio	Córdoba, Veracruz	1991	Anaversa
Gasolina	Explosión	Guadalajara, Jalisco	1992	PEMEX
Etano	Explosión	Reforma, Chiapas	1996	Complejo Procesador de Gas Cactus de Pemex
Gasolina	Incendio	San Juan Ixhuatepec, Edo. de México	1996	Terminal de PEMEX Satélite Norte
Hidrógeno	Explosión	Distrito Federal		
Fuegos pirotécnicos	Explosión	Veracruz		Bodega
Amoniaco	Fuga	Ensenada, Baja California Norte	2003	Pesquera México
Amoniaco	Fuga	Guasave, Sinaloa	2003	Hielera Sinaloa
Amoniaco	Fuga	Nanchital, Veracruz	2005	PEMEX

Fuente: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetitas/381/sarmiento.html> (2005)

Desde 1993 la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente, cuenta con una base de datos sobre emergencias asociadas con sustancias químicas que ocurren en la República Mexicana en instalaciones industriales, que en la mayoría de los casos los daños ocasionados trascienden los límites de propiedad, en ductos y durante el transporte terrestre de dichas sustancias, las cuales tienen repercusiones ambientales.

Cabe mencionar que dentro de la información recopilada, no se incluyen eventos de tipo doméstico o comercial (incendios en cines, hoteles, explosiones de cilindros de gas LP o doméstico), ni accidentes con materiales radioactivos.

Durante el periodo 1993-2002, se registraron en México un promedio anual de 521 emergencias ambientales asociadas con sustancias químicas; sin embargo, estas cifras sólo incluyen aquellos eventos que son del conocimiento de la PROFEPA, por lo que debe haberse suscitado un número un poco mayor; no obstante, los datos existentes dan una idea clara sobre el comportamiento y tendencias de los mismos.

En los estados de Tabasco, Veracruz, Campeche, Guanajuato, Chiapas y Coahuila se presentaron más del 50% de las emergencias ambientales, concentrándose en Tabasco alrededor del 20% del total a nivel nacional. Esto se debe a que, con excepción de Guanajuato y Coahuila, en estos estados se concentra la mayor actividad petrolera, que provoca un gran movimiento de petróleo y sus derivados. En el estado de Guanajuato, por su posición geográfica, se tiene un gran flujo de vehículos que transportan sustancias químicas. En Coahuila el mayor número de emergencias ocurrió en el transporte de sustancias químicas, aunque también se tuvieron en plantas industriales.

En función del tipo de evento las emergencias ambientales más frecuentes fueron las fugas (gases) y derrames (líquidos), habiéndose presentado en más del 80% de los casos, siguiéndole en orden de importancia, los incendios, las explosiones y otro tipo de eventos.

La mayor parte de los eventos son derrames, en general los productos derramados afectan al suelo y posiblemente al subsuelo, aguas subterráneas y cuerpos de agua superficiales. En el caso de fugas de sustancias peligrosas, que dan lugar a la formación de nubes tóxicas, inflamables y/o explosivas, la principal preocupación radica en el riesgo que representan para la integridad y salud de las poblaciones, dada la rapidez con que pueden propagarse a distancia, abarcando extensiones que podrían llegar a ser significativas, además de que pueden afectar a los recursos naturales.

En cuanto al lugar de origen, la mayor parte de las emergencias ambientales con sustancias químicas ocurren durante el transporte y en menor medida en instalaciones industriales fijas. En relación al transporte, la mayor incidencia se presenta en ductos, seguido por el transporte vía carretera, ferroviario, marítimo y otros medios.

De acuerdo a los datos reportados, los hidrocarburos (petróleo crudo, gasolina, diesel, combustóleo, gas natural y gas L.P) representan el 69.8% del total de las emergencias ambientales. Otras sustancias también frecuentes en estas emergencias son: amoniaco, ácido sulfúrico, solventes orgánicos, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio y cloro.

El conocimiento de las sustancias que están involucradas en las emergencias, resulta de vital importancia por múltiples razones: porque se pueden optimizar recursos para su atención; orientar los programas de capacitación; desarrollar marcos normativos específicos para determinados productos o giros industriales que manejen esas sustancias; saber hacia dónde dirigir la atención

para la vigilancia; predecir el probable comportamiento de las sustancias, así como definir las acciones inmediatas de control para minimizar los daños al ambiente y a la población.

Sin embargo, no debemos olvidar que existe un número muy grande de sustancias diferentes a las ya mencionadas que hace necesario que los grupos de respuesta estén capacitados para enfrentar emergencias con diferentes sustancias y que cuenten con el equipo adecuado.

Las emergencias ambientales ocurridas en México han ocasionado diversos daños al ambiente y lamentablemente a la población. En este sentido, durante el periodo 1993-2002 se produjeron:

- 485 defunciones producto de 4,851 emergencias ocurridas
- 2,227 personas heridas o lesionadas en algún grado
- 5,081 personas intoxicadas
- 94,070 personas evacuadas de sus domicilios

Los costos que origina la movilización de tal cantidad de personas son significantes, sin contar los asociados con pérdidas de fuentes de empleo, reparación de servicios como energía eléctrica, agua, drenaje pavimento, entre otros.

Es importante señalar que, aunque en los estados de Tabasco, Veracruz, Campeche y Chiapas, se presenta la mayor cantidad de emergencias ambientales, los efectos que éstas han tenido sobre la población han sido relativamente menores; sin embargo los impactos que han tenido sobre el ambiente son significativos. Por el contrario, en el DF y estados como Estado de México, Nuevo León y Jalisco; aunque con un número de emergencias muy inferior al de los estados ya mencionados, se tienen grandes segmentos de la población afectados debido a la alta densidad poblacional que se registra en las zonas en que han ocurrido los eventos.

Es muy importante contar con legislación que obligue a documentar e investigar los accidentes, de tal forma que se puedan conocer las causas que lo originaron, con el objeto de aprovechar las lecciones que se pueden aprender sobre qué hacer y qué no hacer, así como la forma de aplicar tecnologías más seguras; desarrollando estrategias que impidan su repetición. Adicionalmente a lo anterior, es necesario contar con los recursos humanos y materiales suficientes para responder oportuna y eficazmente a cualquier tipo de emergencia ambiental asociada con sustancias químicas; originadas por su liberación al ambiente (fuga de gases o derrames de líquidos), fuego y/o explosión.

Es necesario disponer de personal debidamente capacitado (certificado) que cuente con el equipo de protección personal, así como de control y combate a emergencias apropiados, en cantidades suficientes, para los diferentes tipos de eventos a que se pueden enfrentar. Asimismo, se requiere de personas capacitadas para la investigación de la causa que originó los accidentes.

Dentro de los grupos de respuesta a emergencias debe mencionarse el gran apoyo que prestan los Comités de Ayuda Mutua, integrados por las empresas industriales para auxiliarse entre sí, conjuntado sus recursos materiales y humanos; por lo que es de suma importancia el seguir promoviendo su creación sobre todo, en lugares en que aún no se cuenta con grupos de respuesta a emergencias formales.

Se requiere mejorar los mecanismos de comunicación entre las autoridades de los diferentes niveles de gobierno y los grupos de respuesta a emergencias locales, con la finalidad de actuar de manera oportuna; así como capacitar a las brigadas para que no se expongan a los peligros y sepan cómo desenvolverse de manera segura, considerando de inmediato las mejores medidas para el

control y minimización de los daños a las poblaciones y al ambiente. Se debe fomentar la organización de cursos de capacitación y simulacros como ejercicios de entrenamiento [24].

Entre los accidentes más graves que han ocurrido en la época moderna a nivel mundial, en que se han visto involucradas sustancias peligrosas destacan los señalados en la tabla 1.2.

**Tabla 1.2 Principales accidentes industriales a nivel mundial**

PAIS	TIPO DE EVENTO	CONSECUENCIAS
Flixborough (UK), 1974	Explosión de vapor no confinada (UVCE) de ciclohexano	- 28 muertos y cientos de heridos - Destrucción completa de las instalaciones
Cubatao (Brasil), 1974	Bola de fuego de gasolina por fuga de un ducto	- Al menos 500 muertos - Graves daños al medio ambiente
Seveso (Italia), 1976	Reacción química fuera de control que provoca el venteo de un reactor, con liberación a la atmósfera de dioxina	- Sin muertes - Evacuación de más de 1,000 personas - Abortos espontáneos y contaminación del suelo - Autoridades ilocalizables (fin de semana)  Las primeras medidas se tomaron a los cuatro días
Camping Los Alfaques, San Carlos de la Rápita (España), 1978	Explosión BLEVE de un camión sobrecargado de propileno al chocar contra un camping	- 215 muertos - Destrucción completa del camping
San Juan Ixhuatepec (México), 1984	Numerosas explosiones de depósitos y tanques de Gas L.P debidas a una fuga y posterior explosión no confinada del gas L. P	- Más de 500 muertos - Más de 4,500 heridos - Más de 1,000 desaparecidos - Destrucción masiva de viviendas  Efecto dominó procedente de la primera UVCE.
Bhopal (India), 1984	Escape de isocianato de metilo en una planta de fabricación de insecticidas	- 3,500 muertes directas y el mismo número de personas en condiciones críticas - Unas 150,000 personas requirieron tratamiento médico - Efectos a largo plazo: cegueras, trastornos mentales, lesiones hepáticas y renales  La nube tóxica atravesó una de las vías de evacuación.
Guadalajara (México), 1992	Serie de explosiones en la red de alcantarillado de la ciudad de Guadalajara por vertidos incontrolados de combustible procedente de la planta de Petróleos Mexicanos, PEMEX	- 190 muertos y 470 heridos 6,500 damnificados - Destrucción de 1,547 edificaciones. - Daños en 100 escuelas y 600 vehículos - Entre 13 y 14 kilómetros de calles destruidas

Fuente: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/381/sarmiento.html> (2005)

Las experiencias de tragedias ocurridas en el pasado demuestran la necesidad de que trabajadores, industria, ciudadanos, organizaciones no gubernamentales y autoridades; trabajen en equipo para prevenir y reducir los riesgos a la salud e integridad humana, al ambiente y a los bienes materiales; así como para planear la respuesta eficiente y oportuna a las emergencias que pueden derivarse de la liberación de sustancias químicas peligrosas [24].

## CAPÍTULO 2

### ACTIVIDADES DE ALTO RIESGO

#### 2.1 ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), indica que para determinar las actividades consideradas altamente riesgosas, se considerará a la acción o conjuntos de acciones, ya sea de origen natural o antropogénico, que estén asociadas con el manejo de sustancias con características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, en cantidades tales que, en caso de producirse una liberación, sea por fuga o derrame de las mismas o bien un incendio o una explosión, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes. [25].

Por lo tanto, se hace necesario determinar la cantidad mínima de las sustancias peligrosas con las propiedades antes mencionadas, que en cada caso, convierte su producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, en actividades que, de producirse una liberación, sea por fuga o derrame de las mismas, vía atmosférica, provocarían la presencia de límites de concentración superiores a los permisibles, en un área determinada por una franja de 100 metros en torno de las instalaciones, o medios de transporte, en el caso de la formación de nubes explosivas, la existencia de ondas de sobrepresión y para incendios radiación térmica. A esta cantidad mínima de sustancia peligrosa, se le denomina cantidad de reporte.

En México, para calcular las cantidades de reporte o de control, se tomó como referencia una distancia de 100 metros, en torno a las fuentes emisoras; dentro de la cual para el caso de sustancias tóxicas, se alcanzaran valores de concentraciones iguales al IDLH (inmediatamente peligrosa para la vida o la salud); en el caso de sustancias inflamables, se produjeran niveles de radiación térmica iguales a  $5 \text{ kw/m}^2$  y para las sustancias explosivas, se presentaran ondas de sobrepresión de 0.5 psi.

El criterio de distanciamiento de 100 metros se adoptó considerando que al desprenderse un gas o evaporarse una sustancia líquida tóxica o inflamable, se formara una nube con forma elíptica, que por la acción del viento, llevara a dicha sustancia a concentrarse en el extremo de la elipse (concentración IDLH para sustancias tóxicas y/o la concentración equivalente al Límite Inferior de Explosividad, LIE, para sustancias inflamables). Para ello, se tomaron en cuenta las consideraciones señaladas en la Guía de Acciones de Emergencia para selección de materiales peligrosos, publicada en 1978 por el Departamento de Transporte (DOT) de Estados Unidos.

En México, de acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, publicada en 1988, la clasificación de las actividades riesgosas se sustentó en el uso de sustancias peligrosas en cantidades que ameritaran su control (llamadas cantidades de reporte). De ahí que se elaboraron y publicaron en el Diario Oficial de la Federación, el primer listado de actividades altamente riesgosas el 28 de marzo de 1990, referente a sustancias tóxicas y el segundo listado de actividades altamente riesgosas el 4 de mayo de 1992, sobre sustancias inflamables y explosivas, con sus correspondientes cantidades de reporte. Para determinar una actividad como altamente riesgosa se considera a aquélla que maneje una o más de las sustancias contenidas en los listados en cantidad igual o superior a la cantidad de reporte.



Las actividades asociadas con el manejo de sustancias con propiedades radiactivas, podrían considerarse altamente riesgosas; sin embargo, la Secretaría de Gobernación y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) no establecen un listado de las mismas, en virtud de que la expedición de las normas de seguridad nuclear, radiológica y física de las instalaciones nucleares o radiactivas compete a la Secretaría de Economía y a la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, con la participación que en su caso corresponda a la Secretaría de Salud, de conformidad con lo dispuesto por la legislación que de manera específica regula estas actividades.

Para determinar las cantidades umbrales o límites, denominadas cantidades de reporte de las sustancias identificadas como tóxicas, la concentración máxima fue comparada con los niveles máximos permitidos (dosis) que aseguren el bienestar y salud del ser humano. Con base en la aplicación de modelos matemáticos, simularon dispersión de nubes de gas o vapor, emitida accidentalmente, mediante lo cual se determinó la concentración máxima de cada sustancia que se podría alcanzar a una cierta distancia a partir de la fuente, en condiciones meteorológicas estables.

Las sustancias incluidas en los listados, se seleccionaron a partir de diversas listas tales como: el listado de sustancias identificadas por la Agencia Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés) como agudamente tóxicas; listados de sustancias consideradas por la Ley General de Salud, de la Secretaría de Salud; listado de sustancias que requieren permiso para su importación a territorio nacional; así como sustancias para las cuales se han fijado límites de exposición a nivel ocupacional por la Secretaría de Trabajo y Previsión Social.

Después de establecer una comparación entre los listados anteriores, se decidió la inclusión de todas las sustancias que:

- ❖ Tienen un IDLH menor de 10 mg/m<sup>3</sup>.
- ❖ Se producen, manejan o transportan en México en grandes volúmenes (aunque no sean tóxico-agudas, porque en caso de liberarse podrían presentar problemas serios al considerarse su concentración en el ambiente).
- ❖ Se encuentren en cantidades tales que de producirse una liberación, ya sea por fuga o derrame de las mismas, provocaría la formación de nubes inflamables cuya concentración sería semejante a la de su límite inferior de inflamabilidad, en un área determinada por una franja de 100 m de longitud en torno a las instalaciones o medio de transporte dados.
- ❖ Generen ondas de sobre presión de 1 lb/pulg.<sup>2</sup> en una franja similar a la anterior en el caso de formación de nubes explosivas.

Es importante hacer notar que en cada país la inclusión de una sustancia en los listados a los que se hace referencia, debe además tomar en cuenta otros factores, empezando por verificar que exista o se utilice en el país; así como la frecuencia en que se haya visto involucrada en accidentes y la gravedad de las repercusiones de los mismos.

Para decidir cómo clasificar las actividades altamente riesgosas en México, no se creyó conveniente simplemente adoptar alguna de las clasificaciones de otro país, ya que nuestra realidad puede ser totalmente distinta, el grado de conciencia y capacidad de manejar los materiales peligrosos puede diferir y la vulnerabilidad de las poblaciones vecinas a las actividades riesgosas puede ser más alta.

De acuerdo con el artículo 147 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la realización de actividades industriales, comerciales o de servicios

altamente riesgosas, se debe llevar a cabo con apego a lo dispuesto por esta Ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas correspondientes. Quienes realicen actividades altamente riesgosas, deberán formular y presentar a la SEMARNAT un estudio de riesgo ambiental.

A su vez, en el Artículo 30 de la LGEEPA se indica que cuando se trate de actividades consideradas como altamente riesgosas en los términos de dicha Ley, la manifestación de impacto ambiental de nuevos proyectos de actividades, deberán incluir el estudio de riesgo correspondiente.

Cuando una sustancia presente más de una de las propiedades señaladas, ésta se clasificará en función de aquella o aquellas que presenten el o los más altos grados potenciales de afectación al ambiente, a la población o a sus bienes y aparezca en el listado o listados correspondientes.

Tanto los nuevos proyectos de instalaciones, como las instalaciones en operación que realicen actividades altamente riesgosas, están obligados a realizar un estudio de riesgo ambiental, el cual está en función de la actividad propia de la instalación [26].

De acuerdo al primer y segundo listado de actividades altamente riesgosas la cantidad de reporte de las sustancias que se estudian en este trabajo son:

Cloro en estado gaseoso	1 kg
Amoniaco en estado gaseoso	10 kg
Gas Licuado de Petróleo en estado gaseoso	50,000 kg

## 2.2 ESTUDIO DE RIESGO

El significativo desarrollo industrial y el creciente aumento demográfico han contribuido a que tanto la producción de sustancias químicas y materiales peligrosos como el uso masivo de ellos, aumenten la probabilidad de que sucedan accidentes que afecten la salud de la población y la integridad del ambiente; es decir, de que se incremente el riesgo. El manejo de estos riesgos implica una forma de control, el cual es definido como el mantenimiento del comportamiento de un sistema (producción, almacenamiento, transporte, transformación y disposición final) dentro de los límites deseados. Estos límites son y deberán ser adoptados no sólo a la naturaleza y a la magnitud del riesgo, también se calculan tomando en consideración los factores globales sociales, culturales, políticos, ecológicos, económicos y de otra índole, de los cuales depende el riesgo o sobre los cuales puede repercutir. Esta es una de las responsabilidades de SEMARNAT, STPS, SE, SS, SEGOB y SCT.

A la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) le corresponde determinar y establecer las normas que aseguren la conservación o restauración de los ecosistemas fundamentalmente para el desarrollo de la comunidad, en particular en situaciones de emergencia o contingencia ambiental y en relación con actividades altamente riesgosas. También evalúa, dictamina y resuelve los estudios de riesgo ambiental que presentan los responsables de la realización de dichas actividades en establecimientos en operación [27].

El *riesgo ambiental* se define como la probabilidad de que ocurran accidentes mayores que involucren a los materiales peligrosos que se manejan en las actividades altamente riesgosas, que pueden trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes, al ambiente y los ecosistemas. La evaluación de dicho riesgo comprende la determinación de los

alcances de los accidentes y la intensidad de los efectos adversos en diferentes radios de afectación [28].

Peligro se define como una o más condiciones físicas o químicas, con posibilidad de causar daños a las personas, a la propiedad, al ambiente o una combinación de ambos, en un periodo de tiempo corto o inmediato.

En este contexto, se entiende como accidente de alto riesgo ambiental, también llamados accidentes mayores: a una explosión, incendio, fuga o derrame súbito que resulte de un proceso en el curso de las actividades de cualquier establecimiento, así como en ductos, en los que intervengan una o varias sustancias peligrosas que representen un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas [29].

La LGEEPA introduce como uno de sus instrumentos el estudio de riesgo; en éste debe indicarse el daño potencial que una obra o actividad representaría para la población, sus bienes y el ambiente, durante su ejecución y operación normal en caso de que se presente un accidente, así como las medidas de seguridad u operaciones tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar dichos daños.

Para evaluar el riesgo de una actividad industrial, comercial o de servicios la SEMARNAT solicita la presentación de un Estudio de Riesgo Ambiental (ERA). Con base en el análisis de las acciones proyectadas para el desarrollo de una obra o actividad que presenta la empresa, la SEMARNAT evalúa los riesgos que pueden representar para el equilibrio ecológico o el ambiente, así como las medidas técnicas de seguridad, preventivas o correctivas tendientes a evitar, mitigar, minimizar o controlar los efectos adversos al equilibrio ecológico en caso de un posible accidente, durante la ejecución u operación normal de la obra o actividad de que se trate. Para ayudar a prevenir eventos o 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.
- 2.- La probabilidad de que se presente el evento correspondiente.

En cuanto a los accidentes industriales que afectan seriamente al ambiente, es importante recordar que los tres tipos fundamentales de accidentes a considerar son: 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 las condiciones de los recipientes, construcciones y diseño de los equipos y características de la transportación de dichas sustancias.

Los accidentes se pueden presentar por causas naturales o antropogénicas. Las medidas de prevención y mitigación de riesgos a aplicarse en las diversas instalaciones industriales, se pueden clasificar en:

- 1.- medidas preventivas, cuya finalidad es reducir en su origen los niveles posibles de riesgo a valores socialmente aceptables.
- 2.- medidas de control, que tienen como objetivo reducir los efectos negativos en el ambiente de los accidentes, cuando se lleguen a presentar y
- 3.- medidas de atención, destinadas a reducir los daños a la población y al equilibrio ecológico, cuando el accidente ha tenido lugar.

Para determinar el nivel de riesgo que representa una instalación se deben considerar diversos factores los cuales pueden ser:

- Ubicación de la planta.
- Distribución inadecuada de equipo y procesos.
- Diseño y construcción fuera de especificaciones.
- Selección inadecuada de materiales.
- Diseño de proceso.
- Selección y mantenimiento del equipo de proceso, almacenamiento, etc.
- Falta de programas eficientes de seguridad tanto internos como externos.

El riesgo total que presenta una instalación industrial, conjunta dos aspectos importantes:

1.-Riesgo Intrínseco del Proceso Industrial, que depende de la naturaleza de las sustancias que se manejen, de las modalidades energéticas utilizadas y la vulnerabilidad de los diversos equipos que integran el proceso, así como la distribución y transporte de las sustancias peligrosas.

2.- Riesgo de Instalación, el cual depende de las características del sitio en que se encuentra ubicada la planta, donde pueden existir factores que magnifiquen los riesgos que puedan derivar en accidentes (condiciones meteorológicas, vulnerabilidad de la población aledaña, ecosistemas frágiles, infraestructura para responder a accidentes, entre otros).

La necesidad de evaluar el riesgo ambiental surge de la importancia de preservar a los ecosistemas, a la población y a los bienes circundantes a los sitios en donde se efectúan actividades riesgosas, así mismo para prevenir daños de consideración en el caso de presentarse emergencias ambientales. Es necesario desarrollar y aplicar técnicas de análisis de riesgo ambiental, así como políticas del uso del suelo que eviten coexistencias de zonas urbanas o ecológicamente sensibles y áreas industriales de alto riesgo [30].

El nivel de complejidad del estudio de riesgo está en función de la actividad que realice la instalación y esto se determina de acuerdo a un diagrama elaborado por la SEMARNAT, en el que se define el nivel de información necesaria para el estudio. Actualmente se cuenta con una guía que establece tres niveles de información: Informe Preliminar de Riesgo, Análisis de Riesgo y Análisis Detallado de Riesgo (Nivel 1,2 y 3) y un nivel específico para el caso de ductos terrestres (Nivel 0), en la tabla 2.1 se presentan de la actividad para determinar qué modalidad de estudio de riesgo le corresponde [26].

**Tabla 2.1 Modalidades de estudios de riesgo aplicables a las actividades altamente riesgosas de acuerdo con su nivel de complejidad**

Nivel de complejidad	Descripción de las características de riesgo de cada nivel	Modalidad de estudio de riesgo solicitado
----------------------	--	---

I	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se realizan operaciones de mezclado, filtración o almacenamiento, o la combinación de ellas.</li> <li>El almacenamiento ocurre a condiciones atmosféricas.</li> <li>No se realizan reacciones químicas en las áreas de producción, intercambio de calor, manejo de presiones diferentes a la atmosférica y temperaturas mayores a la del ambiente.</li> <li>El uso de suelo es industrial, rural o agrícola</li> </ul>	Análisis Preliminar de Riesgo
II	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se trata de complejos químicos o petroquímicos con 2 o más plantas.</li> <li>Se produce uno de los siguientes materiales: ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico, óxido de etileno, butadieno, cloruro de vinilo o propileno.</li> <li>El establecimiento ha sufrido accidentes mayores (que han trascendido a la opinión pública).</li> <li>Cuando se trate de una actividad que está interconectada con otra actividad altamente riesgosa ubicada en predio colindante, a través de tuberías en las que se maneje alguno de los materiales reportados en los Listados de Actividades Altamente Riesgosas.</li> </ul>	Análisis de Riesgo
III	<ul style="list-style-type: none"> <li>El tipo de operación que se realiza es destilación o refrigeración o extracción con solventes o absorción.</li> <li>El almacenamiento es en tanques presurizados.</li> <li>Existe reacción química, intercambio de calor y/o energía, presiones mayores o menores a la atmosférica o temperaturas mayores a la del ambiente.</li> <li>El uso de suelo es habitacional, mixto o es zona de reserva ecológica.</li> <li>La zona es susceptible a sismos, hundimientos o fenómenos hidrológicos y metereológicos.</li> </ul>	Análisis Detallado de Riesgo.
Específico de ductos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Longitud igual o mayor de 1 km.</li> <li>Diámetro igual o mayor de 10.2 cm (4 plg.).</li> <li>La presión igual o mayor de 10 kgf/cm<sup>2</sup> antes de la caseta de regulación.</li> <li>En su trayectoria cruza con zonas habitacionales o áreas naturales protegidas.</li> <li>Independientemente de las condiciones anteriores, el ducto transporta ácido fluorhídrico, cloruro de hidrógeno, ácido cianhídrico, cloro, amoniaco, óxido de etileno, butadieno, cloruro de etileno o propileno.</li> </ul>	Estudio del Riesgo de Ductos

Fuente: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/132/clasificacion.html> (2005)

### 2.2.1 Información Contendida en el Estudio de Riesgo

El estudio de riesgo aplica para instalaciones en operación y contiene ocho capítulos, siendo comunes a los 3 niveles, los capítulos 1, 2, 3, 4, 7 y 8 y los capítulos 5 y 6 (descripción del proceso, y análisis y evaluación de riesgos) dependen del nivel del estudio. La información contenida en el estudio es la siguiente:

1. Datos generales de la empresa: dirección, actividad, giro industrial, número de trabajadores, nombre y datos del responsable de la instalación y del estudio.
2. Descripción general de la instalación: descripción de la actividad, ubicación de la instalación con planos, actividades en los alrededores, zonas vulnerables, infraestructura, autorizaciones con que cuenta.
3. Aspectos del medio natural y socioeconómico: características del entorno, flora, fauna, suelo, aire, agua, características climáticas, densidad demográfica, actividades en los alrededores, susceptibilidad a sismos, huracanes, inundaciones, derrumbes y erosión.

4. Integración del proyecto a las políticas marcadas en el programa de desarrollo urbano local.
5. Descripción del proceso: criterios de diseño, descripción detallada del proceso, listado de materias primas, productos, subproductos, hojas de datos de seguridad de los materiales, características de los recipientes de almacenamiento y de los equipos de proceso y auxiliares, así como condiciones de operación y los diagramas de tuberías e instrumentación.
6. Análisis y evaluación de riesgos: identificación y jerarquización de los riesgos en áreas de proceso, almacenamiento y transporte, determinación de radios potenciales de afectación, representación en mapas de las zonas de alto riesgo y amortiguamiento, análisis de posibles interacciones con otras áreas o instalaciones próximas, recomendaciones técnico operativas para mitigar riesgos, resultados de la última auditoria de seguridad, equipos y sistemas de seguridad y medidas preventivas para evitar el deterioro al ambiente.
7. Conclusiones y recomendaciones: resumen ejecutivo del estudio de riesgo, informe técnico del estudio de riesgo y conclusiones del estudio.
8. Anexo fotográfico de las instalaciones: áreas o equipos críticos, así como la ubicación de la instalación, señalando colindancias y puntos de interés [7].

Dichos estudios tienen como objetivo contar con la información mínima suficiente para identificar y evaluar en cada una de las fases que comprende el proyecto, las actividades riesgosas, y con ello incorporar medidas de seguridad tendientes a evitar o minimizar los efectos potenciales a su entorno en caso de accidente. El nivel de estudio dependerá de la complejidad de los procesos industriales desarrollados o a desarrollar por la empresa.

Para la identificación y jerarquización de riesgos se puede aplicar alguno de los siguientes métodos:

- Análisis histórico de accidentes
- Lista de verificación (Check list)
- Análisis preliminar de peligros
- ¿Qué pasa sí? (What if?)
- Análisis funcional de operatividad (HAZOP)
- Análisis de Modos de Falla y Efecto (AMFE)
- Análisis de Árbol de sucesos (ETA)
- Análisis por Árbol de Fallas (AAF)
- Índice de Down
- Índice de Mond

Para determinar las áreas potenciales de afectación de los eventos máximos probables de riesgo identificados, se emplean diferentes modelos matemáticos de simulación. Algunos de los más utilizados son [31]:

- ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres, por sus siglas en inglés)

- ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation, por sus siglas en inglés)
- SCRI (Simulación de Contaminantes y Riesgos en Industrias)
- PHAST (Process Hazard Análisis Software Tool, por sus siglas en inglés)
- TRACE (Toxic Release Análisis Chemical Emissions, por sus siglas en inglés)
- TSCREEN (Toxics Screening, por sus siglas en inglés)
- DEGADIS (Dense Gas Dispersión Model, por sus siglas en inglés)
- SAFER (Safety Assessment for Explosives Risk, por sus siglas en inglés).

### 2.3 PROGRAMAS PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES

La magnitud del daño que pudiera provocar un accidente causado por sustancias peligrosas está en relación directa con la presencia de una serie de factores como son: las características del sitio donde éstas se manejan, las instalaciones y procesos utilizados, las condiciones meteorológicas existentes en el área en el momento del accidente, la cantidad de la sustancia liberada al ambiente, la población potencialmente expuesta y/o afectable, las medidas que se tengan para enfrentar la emergencia, etc.

Por esta razón el gobierno federal ha establecido disposiciones y emprendido acciones para disminuir los riesgos y enfrentar contingencias derivadas de las actividades consideradas como altamente riesgosas, una de las cuales consiste en elaborar un Programa para la Prevención de Accidentes.

Un programa para la prevención de accidentes, es un programa especializado que deben elaborar las empresas que realizan actividades altamente riesgosas, basado en los resultados obtenidos en un estudio de riesgo ambiental, que integra la organización, los recursos humanos y materiales disponibles, planes, procedimientos, medidas y acciones preventivas, y de preparación de la respuesta a emergencias que involucren materiales peligrosos, así como para la recuperación y restauración, a fin de proteger a los trabajadores, a la población, al ambiente y a los recursos naturales.

La implantación de los programas para la prevención de accidentes, tiene como propósito:

- ❖ Una respuesta más pronta a los accidentes que involucren materiales peligrosos.
- ❖ Una coordinación mayor en la respuesta de todas las personas que deben de intervenir en los programas de emergencia internos y externos.
- ❖ Que haya un menor número de vidas perdidas y de individuos afectados, así como de daños materiales y ambientales, en caso de que ocurra un accidente.

En materia de actividades altamente riesgosas, desde abril de 1989, el INE ha requerido a quienes realizan actividades consideradas como tales, la presentación de un programa para la prevención de accidentes (PPA) con base en el artículo 147 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), el cual es analizado y evaluado en el seno del Comité de Análisis y Aprobación de los Programas para la Prevención de Accidentes (COAAPP) donde participan las Secretarías de: Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP) de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI), del Trabajo y Previsión Social (STPS), de Salud (SSA), Gobernación (SEGOB).

Los PPA's son requeridos en los dictámenes en materia de Impacto y Riesgo Ambiental, emitidos por la SEMARNAT; el estudio de riesgo siempre se presenta antes que el PPA; sin embargo, es importante aclarar que la presentación de un estudio de riesgo en cualquier modalidad, no implica el requerimiento de un programa para la prevención de accidentes.

Una vez que los PPA's son analizados y dictaminados por el Comité, estos se implementarán a nivel total, con la participación de la unidad de Protección Civil, autoridades, comunidad y empresas aledañas, y demás instituciones relacionadas con aspectos de seguridad y atención a la población y al ambiente.

Aunque algunas empresas ya cuenten con planes de respuesta a emergencias, es necesaria su revisión para hacer la actualización y adecuaciones, del mismo modo, las empresas que sean consideradas como altamente riesgosas y que no cuenten con un PPA, deberán desarrollarlo.

Los criterios empleados para su elaboración se basan en la posibilidad de que ocurran contingencias provocadas por el manejo de sustancias peligrosas y de la necesidad de contar con un programa adecuado para evitar que éstas puedan tener consecuencias de desastre.

Actualmente el COAAPPA, ha desarrollado una guía para la elaboración del PPA, misma que es entregada únicamente cuando en el dictamen de impacto o riesgo ambiental se hace la solicitud específica [30].

Un programa de prevención de accidentes consiste de tres partes:

- ❖ Antecedentes generales de la empresa.
- ❖ Programa para la prevención de accidentes a nivel interno.
- ❖ Programa para la prevención de accidentes a nivel externo.

### **2.3.1 Antecedentes Generales de la Empresa**

En esta sección se solicita información sobre los datos generales de la empresa, las características del sitio donde está ubicada la instalación y un resumen del estudio de riesgo.

Los datos de la empresa incluyen la razón social, giro industrial, domicilio, responsable, número de personal que labora en la planta, superficie del predio y coordenadas geográficas.

Se deben describir las características geológicas, climatológicas, hidrológicas, oceanográficas, socioeconómicas y biológicas del sitio donde se ubica la planta, tratando de resaltar la vulnerabilidad del entorno de la planta, así como identificar a la población que podría ser afectada y los servicios como bomberos, hospitales, etc. que podrían ser utilizados en caso de emergencia.

Se solicita información resumida sobre la evaluación de riesgo de la planta, descripción general del proceso productivo, sustancias químicas peligrosas que se manejan, cantidades de almacenamiento, ubicación de estas sustancias, hojas de datos de seguridad de los materiales, identificación de peligros y análisis de riesgos y los resultados de la simulación de consecuencias donde se establezcan radios de afectación y amortiguamiento.

### **2.3.2 Nivel Interno del Plan**



Esta parte del programa se refiere a la atención ante una emergencia considerando que no se tiene un efecto adverso a los alrededores de la empresa, por lo tanto se debe proteger solo a los trabajadores y las propias instalaciones. Esta sección debe incluir lo siguiente:

- Descripción de la organización de la unidad interna de coordinación del programa de prevención de accidentes, señalando el organigrama, las funciones de cada integrante, así como el directorio de los mismos.
- Inventario de equipos y servicios de emergencia, se debe incluir el inventario y la ubicación en un plano del centro de operaciones, dispositivos para determinar la dirección del viento, extintores, sistemas contra incendios, equipo contra explosiones y fugas o derrames, equipo de protección personal y de primeros auxilios, instalaciones de atención médica, sistemas y equipo de comunicación y alarma, unidades de transporte de personal, rutas de evacuación, centros de reunión, equipo y materiales para descontaminación y un plano de distribución de equipo.
- Procedimientos específicos para la atención de fugas, derrames, incendios y explosiones, así como por afectación debido a fenómenos naturales. También deben describirse los procedimientos de evacuación, de búsqueda y rescate, de primeros auxilios para declarar el fin de la emergencia y de post-emergencia.
- Programa de capacitación y simulacros que se aplicarán anualmente para el personal que forma parte de la unidad interna que hará frente a una emergencia y el personal en general. Tomando en cuenta los riesgos mayores identificados en el estudio de riesgo de la empresa.

### **2.3.3 Nivel Externo del Plan**

El programa de prevención de accidentes a nivel externo se desarrolla considerando que el evento rebasa los límites de la empresa y es necesario solicitar ayuda de las empresas de los alrededores, de las autoridades y de los servicios de emergencia locales, así como alertar a la población aledaña potencialmente afectable.

Este plan externo abarca los siguientes puntos:

- Infraestructura y servicios. Se presenta el directorio de las instituciones de servicios que serían empleadas en caso de emergencia, señalando su ubicación y distancia con respecto a la planta. Además se deben señalar los recursos e infraestructura que no están disponibles en la localidad pero que serían necesarios para responder ante una emergencia.
- Procedimiento de comunicación de la emergencia. Se describe el procedimiento de comunicación de alerta y alarma con grupos externos, autoridades locales y población involucrados, señalando claves, señales, tipos de alarma, duración y días de prueba. Se indica la persona que actuará como vocero comunicando oficialmente la situación de la emergencia a las autoridades, a la población y a los medios de comunicación.

- Equipos de que dispone la empresa para emergencias en el exterior, tal como extintores, equipo de primeros auxilios, vehículos, carro de bomberos, etcétera.
- Capacitación y simulacros. Se presenta una propuesta de temario de capacitación y simulacros para los posibles grupos de respuesta externa.
- Para la evacuación, deben establecerse las rutas de evacuación al exterior de la planta hasta el límite de la distancia mayor obtenida en el estudio de riesgo. Asimismo deben indicarse las áreas o instalaciones que podrían utilizarse como áreas de concentración y aquéllas que servirían como albergues.
- Debe presentarse un documento firmado donde aparezca el nombre de cada una de las empresas afiliadas al grupo de ayuda mutua, especificando el nombre de las personas responsables y las condiciones en las que se comprometen a participar, el reglamento que regirá a las empresas afiliadas describiendo sus funciones y responsabilidades, así como el organigrama y directorio telefónico [11].

A finales de la década de 1970, diversas industrias ubicadas en zonas o parques industriales, decidieron agruparse para formar un Grupo de Ayuda Mutua, con el objeto de llevar a cabo intercambio de experiencias entre los profesionales de seguridad industrial y salud ocupacional sobre accidentes o incidentes ocurridos en las instalaciones de las empresas integrantes, a fin de adoptar conjuntamente, las medidas preventivas correspondientes para evitar su repetición; así como para implementar sistemas de control de accidentes y/o siniestros y para llevar a cabo un auxilio eficaz y seguro en caso de alguna emergencia ocurrida dentro de alguna de las empresas, que puede representar una afectación a las demás instalaciones, a la población de los alrededores y al medio ambiente.

En la década de 1980 se incrementó el número de estos grupos, constituyéndose oficialmente como Comités Locales de Ayuda Mutua (CLAM), siendo una de sus metas demostrar el compromiso de las industrias integrantes, para atender las preocupaciones de las autoridades locales y de la sociedad ante eventuales accidentes en las empresas, a través de promover la mejora continua en la protección de la salud, la seguridad y el cuidado del medio ambiente.

Los principales objetivos que persiguen estos Comités son:

- Proporcionar información sobre los productos químicos manejados. Esto es que Protección Civil, los cuerpos de emergencia y la comunidad deben tener conocimiento de las actividades altamente riesgosas que llevan a cabo las empresas de su localidad.
- Aprovechar la sinergia que resulta del trabajo conjunto, para ampliar la infraestructura disponible y la capacidad de respuesta.
- Establecer o renovar los planes de respuesta a emergencias.
- Cooperar en la planeación de emergencias en la comunidad.
- Capacitar a los cuerpos de emergencia de su localidad.
- Integrar los planes de las plantas con los de la comunidad.
- Involucrar a la comunidad en la planeación de emergencias.
- Realizar simulacros con la participación de las autoridades de Protección Civil, los cuerpos de emergencia y la comunidad.

Actualmente se estima que existen más de 100 Comités Locales de Ayuda Mutua en toda la República, constituidos con diferentes nombres (AMEI, CAMEE, CAMI, PAMI, GIREL,

CEAISTAC, entre otros), agrupando a más de 1200 empresas, que en su mayoría realizan actividades de alto riesgo.

El potencial de estos grupos organizados, no ha sido aprovechado debidamente, aunque en los últimos dos años ha habido un repunte en su formación y consolidación, a través de las Unidades de Protección Civil [32].

En el siguiente cuadro se resumen las ventajas que se pueden obtener de la filosofía de ayuda mutua de estos grupos y las acciones para su consolidación:

VENTAJAS	ACCIONES
Efecto sinérgico en la utilización de los recursos humanos y materiales de las empresas y autoridades	Participación de las delegaciones de la SEMARNAP, en la promoción y creación de estos grupos.
Elevar la cultura sobre protección civil y ambiental	Participación de los comités en cursos de capacitación y concientización a las comunidades
Identificación de expertos en el manejo de materiales peligrosos	Creación de un Directorio a nivel nacional
Contar con procedimientos de investigación de riesgos crónicos en el manejo de materiales altamente peligrosos.	Detección, monitoreo y diagnóstico en zonas vulnerables

Fuente: <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/132/avances.html> (2005)

## 2.4 ZONAS INTERMEDIAS DE SALVAGUARDIA

El Artículo 2º de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, establece que se considera de utilidad pública “el establecimiento de zonas intermedias de salvaguarda, con motivo de la presencia de actividades altamente riesgosas”.

En su Artículo 20, fracción II, la Ley señala que "El programa de ordenamiento ecológico general del territorio será formulado por la Secretaría, en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática y tendrá por objeto determinar: los lineamientos y estrategias ecológicas para la preservación, protección, restauración y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, así como para la localización de actividades productivas y de los asentamientos humanos".

El Artículo 23 establece que "Para contribuir al logro de los objetivos de la política ambiental, la planeación del desarrollo urbano y la vivienda, además de cumplir con lo dispuesto en el artículo 27 constitucional en materia de asentamientos humanos, considerará los siguientes criterios”:

- Fracción III.- En la determinación de las áreas para el crecimiento de los centros de población, se fomentará la mezcla de los usos habitacionales con los productivos que no representen riesgos o daños a la salud de la población y se evitará que se afecten áreas con alto valor ambiental.
- Fracción VIII.- En la determinación de áreas para actividades altamente riesgosas se establecerán las zonas intermedias de salvaguarda en las que no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.

El Artículo 145 especifica que "La Secretaría promoverá que en la determinación de los usos del suelo se especifiquen las zonas en las que se permita el establecimiento de industrias, comercios o servicios considerados riesgosos por la gravedad de los efectos que puedan generar en los ecosistemas o en el ambiente tomándose en consideración:

- I. Las condiciones topográficas, meteorológicas, climatológicas, geológicas y sísmicas de las zonas;
- II. Su proximidad a centros de población, previendo las tendencias de expansión del respectivo asentamiento y la creación de nuevos asentamientos;
- III. Los impactos que tendría un posible evento extraordinario de la industria, comercio o servicio de que se trate, sobre los centros de población y sobre los recursos naturales;
- IV. La compatibilidad con otras actividades de las zonas;
- V. La infraestructura existente y necesaria para la atención de emergencias ecológicas, y
- VI. La infraestructura para la dotación de servicios básicos.

A su vez, el artículo 148 de la Ley plantea que: "Cuando para garantizar la seguridad de los vecinos de una industria que lleve a cabo actividades altamente riesgosas, sea necesario establecer una zona intermedia de salvaguarda, el gobierno federal podrá, mediante declaratoria, establecer restricciones a los usos urbanos que pudieran ocasionar riesgos para la población. La Secretaría promoverá, ante las autoridades locales competentes, que los planes o programas de desarrollo urbano establezcan que en dichas zonas no se permitirán los usos habitacionales, comerciales u otros que pongan en riesgo a la población.

Actualmente solo existe una zona intermedia de salvaguarda, localizada en torno a la empresa Química Flúor, S.A. de C.V. dedicada a la producción de ácido fluorhídrico, en Matamoros, Tamaulipas, la cual fue declarada por el Ejecutivo Federal mediante Decreto publicado en el Diario Oficial de la Federación el 11 de enero de 1991 [33].

## CAPÍTULO 3

### FUNDAMENTOS PARA LA EVALUACIÓN DE CONSECUENCIAS DE EVENTOS QUE INVOLUCRAN SUSTANCIAS PELIGROSAS

El gran desarrollo industrial de los últimos 50 años en los países industrializados ha estado asociado a un importante crecimiento de la industria química y la notable evolución de la misma, que ha dado lugar a la proliferación de instalaciones industriales, el aumento casi constante de su tamaño y el consiguiente incremento de los inventarios de las sustancias químicas contenidas en dichas plantas.

Entre los diversos aspectos negativos que todos estos cambios han implicado, ocupa un lugar importante el aparente aumento de la probabilidad de grandes accidentes con un fuerte impacto sobre las personas, el medio ambiente y los bienes. El riesgo potencial de grandes accidentes se pone de manifiesto en la década de los años ochentas, desgraciadamente por la ocurrencia de algunos casos graves.

En la industria química un gran número de accidentes se producen por la pérdida de contención en depósitos y tuberías que almacenan y transportan productos en forma gaseosa o líquida. En la mayoría de los casos estas sustancias son peligrosas.

Los eventos de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria, con efectos graves son los siguientes:

- 1) Fugas o derrames de sustancias peligrosas
- 2) Evaporación de líquidos derramados
- 3) Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles
- 4) Incendios de charco o "Pool fire"
- 5) Dardos de fuego o "Jet fire"
- 6) Explosiones de nubes de vapor no confinada o "UVCE"
- 7) Explosión por expansión de vapores de líquido en ebullición BLEVE

Normalmente, un evento de estas características se produce a partir de algún suceso menor que involucra la pérdida de estanqueidad de algún recipiente, depósito o tubería que contiene alguna sustancia peligrosa, lo que produce la fuga o derrame de esta sustancia cuya consecuencia puede ser la formación de nubes tóxicas, incendios y/o explosiones. También es posible un incendio previo o simultáneo a una fuga o incluso, una explosión previa a la fuga o al incendio. No obstante, en la mayoría de los casos el primer suceso consiste en una fuga o derrame incontrolado de producto de su lugar de confinamiento (depósitos, tuberías, reactores, válvulas, bombas, etc.), por lo que hay que prestar una especial atención a este fenómeno [34].

### 3.1 FUGAS O DERRAMES DE SUSTANCIAS PELIGROSAS

Hay que distinguir tres tipos de fugas atendiendo al fluido de que se trate:

- Fugas de líquidos: derrames de sustancias líquidas de un recipiente cuando el fluido permanece líquido durante el proceso.
- Fugas de gas/vapor: escapes de sustancias en fase gas de un recipiente. El cálculo del material fugado exige tratamientos distintos si el fluido almacenado es gas a presión o si es un vapor en equilibrio con un líquido.
- Fugas bifásicas: mezclas de gas y líquido a menudo resultantes de la ebullición del líquido en las condiciones de descarga.

Según la duración y tamaño del escape se pueden clasificar las fugas en:

- Fuga instantánea: colapso del recipiente por vertido muy rápido de su contenido.
- Fuga continua o semicontinua: pérdida de contenido de magnitud y duración limitadas.

El objetivo principal de un modelo de fugas consiste en describir adecuadamente dos variables:

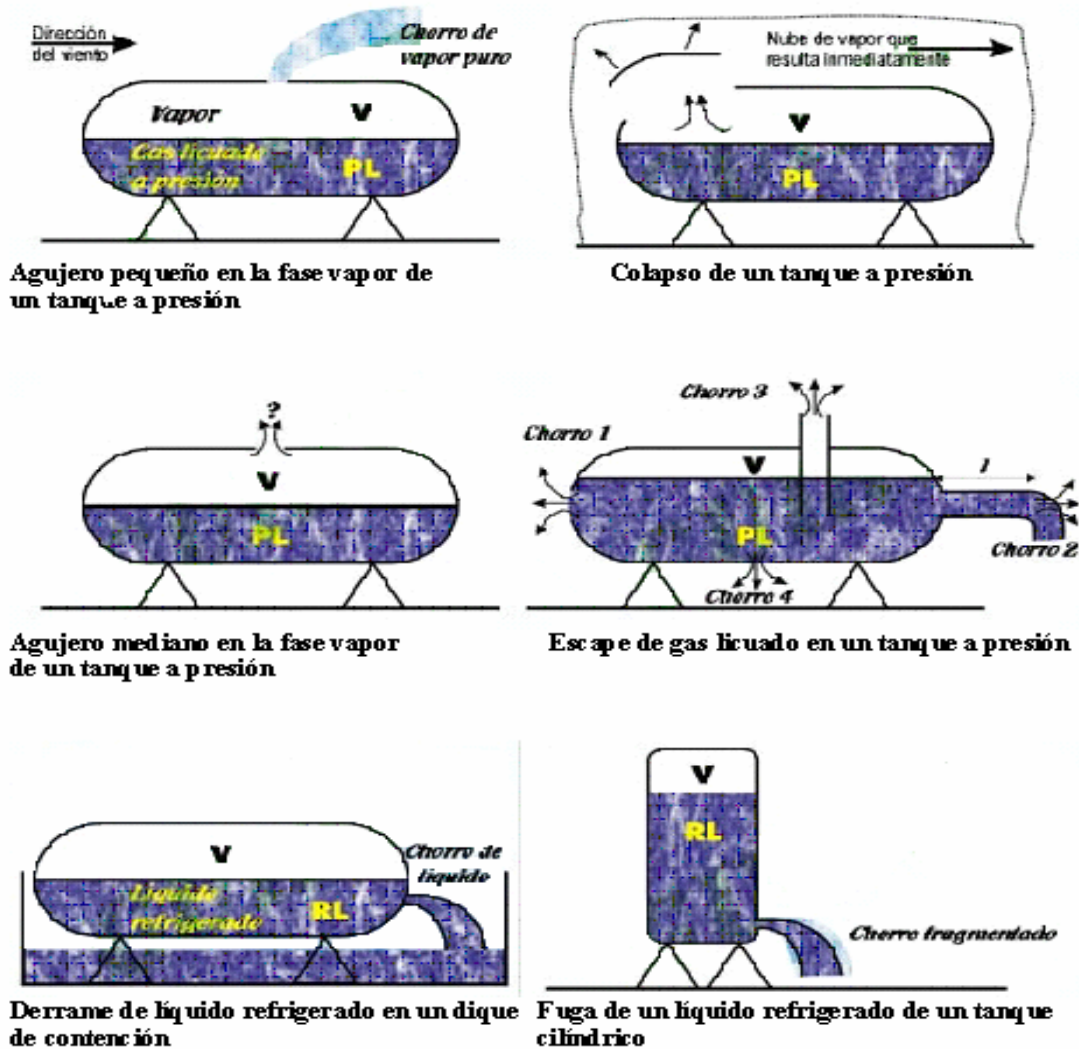
- a. La cantidad de fluido liberada, y
- b. Las condiciones de presión y temperatura de la sustancia fugada.

Este último aspecto es el más difícil de considerar, puesto que en las fugas se producen procesos de transferencia de energía entre el recipiente y su entorno. La simplificación de estas transferencias de energía hace que los modelos aplicados traten dos tipos de procesos:

- a. **Adiabático:** es aquel proceso que se realiza sin transferencia de calor con el exterior. Se produce cuando el fluido sufre grandes cambios de densidad muy rápidamente o cuando el recipiente está térmicamente aislado. Es el caso de los procesos en los que el calor que recibe el recipiente desde el exterior, durante el tiempo que dure la fuga, es prácticamente despreciable frente a la energía del fluido que contiene el recipiente.
- b. **Isotérmico:** es aquél que se produce sin cambio de temperatura. Se suele producir cuando no hay cambios importantes de densidad (líquidos), o el proceso es lento y el fluido en el recipiente tiene una inercia térmica suficiente o cuando la presión en el recipiente se mantiene casi constante durante la fuga.

En el caso que nos ocupa, las fugas durante el trasiego, carga y transporte de productos peligrosos, se analizan utilizando los modelos isotérmicos [35].

El siguiente esquema presenta los tipos de fugas en depósitos de líquidos almacenados bajo presión.



### 3.2 EVAPORACIÓN DE LÍQUIDOS DERRAMADOS

En la evaporación de una sustancia líquida, es preciso conocer la cantidad de gas o vapor que se forma como consecuencia de una fuga de líquido o de líquido y gas.

Los modelos matemáticos intentan predecir la cantidad de gas o vapor que se desprende de un derrame de líquido en determinadas condiciones de presión, temperatura, velocidad del viento, tipo de suelo, y otras variables.

Se pueden almacenar sustancias líquidas a temperatura ambiente (líquidos no hirvientes), que al derramarse forman un charco de líquido que se evapora. También se pueden almacenar sustancias gaseosas en forma líquida por dos procedimientos: almacenándolos a temperatura ambiente y a una presión mayor que la presión atmosférica (caso de los gases licuados bajo presión), o bien almacenándolos a presión atmosférica pero enfriándolos hasta su temperatura de ebullición o por debajo de ésta (gases licuados por refrigeración). Ejemplos de almacenamiento de gases licuados son los derivados del petróleo (butano, propano, etc.) y otros tipos de gases muy utilizados en la industria como son cloro, amoníaco, oxígeno, etc.

Por tanto, se distinguen varios casos posibles de vaporización de líquidos:

1. Líquidos sobrecalentados: son los procedentes de líquidos almacenados bajo presión a temperatura mayor que su temperatura de ebullición normal.
2. Líquidos hirvientes: son aquéllos procedentes de gases licuados por enfriamiento.
3. Líquidos no hirvientes: sustancias líquidas almacenadas a temperatura ambiente.

### **Evaporación de Líquidos Sobrecalentados**

Cuando se produce una pérdida de contención o fuga en un depósito con un gas licuado bajo presión en su interior, se produce un descenso súbito de su presión hasta la presión atmosférica. Las presiones de almacenamiento son normalmente las correspondientes a las presiones de vapor a las temperaturas de almacenamiento para todos los gases licuados. Este proceso de pérdida de presión da lugar a una evaporación súbita o "flash" ayudado además por estar sobrecalentado, es decir, por encima de su temperatura de ebullición.

Esta evaporación súbita hace que se arrastren considerables cantidades de líquido con el gas en el momento de la fuga. Parte de este líquido se evapora rápidamente y parte va a formar un charco si el caudal de fuga es considerable y el tiempo es relativamente largo.

Tras esta rápida evaporación inicial, el charco formado enfría el suelo y la evaporación transcurre con mayor lentitud que la inicial. En cualquier caso, el caudal de evaporación depende de las condiciones ambientales, de la presión de almacenamiento (su presión de vapor), temperatura, velocidad del aire, etc.

### **Evaporación de Líquidos Hirvientes**

Esta situación se produce en la evaporación de derrames de gases licuados por refrigeración (enfriamiento) que se encuentran a su temperatura de ebullición y en la evaporación de derrames procedentes de gases licuados a presión después de la evaporación súbita inicial. La evaporación se produce por la presencia de un líquido que se encuentra a su temperatura de ebullición.

### **Evaporación de Líquidos no Hirvientes**

Son aquellas sustancias líquidas a temperatura ambiente y que se almacenan a esta temperatura. El resultado es la formación de un charco de líquido no hirviente, a partir del cual tiene lugar una evaporación más o menos intensa. En estos casos, la evaporación del líquido se produce por la difusión de sus propios vapores, así como por efecto de arrastre del viento.

El modelo para una fuga o derrame de un líquido que se evapora está basado en la ecuación de Dispersión Gaussiana de un gas o vapor.



Cuando ocurre una fuga de un gas, el gasto emitido  $Q$  (g/s) estará determinado por las características del almacenamiento o línea donde se produzca. Cuando ocurre una ruptura de un recipiente el gasto podrá depender del tamaño del orificio y de la presión a la que se encuentre almacenado el gas. Para una fuga en una línea de conducción el gasto será función del diámetro de la misma y de la velocidad a la cual es transportado el gas [36].

### 3.3 DISPERSIÓN DE NUBES DE GASES, VAPORES Y AEROSOLLES

En el análisis de la estimación de las consecuencias de las emisiones accidentales a la atmósfera de contaminantes procedentes de actividades industriales, uno de los aspectos clave a considerar es su dispersión en el ambiente.

La emisión de contaminantes a la atmósfera y el importante manejo de sustancias peligrosas debido a la actividad industrial son hoy en día un aspecto relevante de nuestra sociedad.

La generación de contaminantes atmosféricos en las actividades de producción se puede presentar tanto a nivel de proceso como por las operaciones de combustión. Una característica de estas emisiones es su carácter casi permanente y rutinario, ya que van ligadas a la operación normal de una industria. En varios países se han fijado estándares de emisión que regulan la cantidad máxima de contaminante a emitir por unidad de tiempo base, de tal manera que las posibles afectaciones en el entorno del emisor sean mínimas. La finalidad de las normas es el prevenir y evitar la presencia de concentraciones elevadas a nivel de piso que pudieran dañar a los posibles receptores (población, vegetación, bienes materiales, etc.), o modificar la calidad del aire ambiente existente.

El manejo, transporte o almacenamiento de sustancias peligrosas requieren de un especial cuidado, debido a los efectos que se pueden presentar en caso de ocurrir un accidente; de particular interés es el referente a la liberación a la atmósfera de un gas o vapor tóxico proveniente de una fuga o derrame que se evapora. Un factor importante a considerar es la posible exposición de gente a concentraciones de gas o vapor que puedan afectar severamente su salud o incluso provocar su muerte. Actualmente este tipo de eventos ha recibido especial atención debido a un número significativo de accidentes que se han registrado a nivel mundial [37].

El término dispersión es utilizado en la modelación de accidentes para describir la evolución de una nube de gas tóxica o inflamable en la atmósfera. La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo a medida que va disminuyendo su concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal. En el caso de gases pesados la dispersión se produce incluso en dirección contraria al viento [12].

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

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

No se puede hablar, en la mayoría de los casos, de un comportamiento único como gas ligero, neutro o pesado, ya que los factores que influyen en él son múltiples y pueden variar con el tiempo; así mismo una mezcla gas/aire puede comportarse como un gas pesado sin serlo debido a:

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

Por lo que respecta a la fuente, ésta se puede considerar de dos tipos:

- Fuente instantánea: el contaminante se libera a la atmósfera en su totalidad en un lapso de tiempo muy corto o en forma inmediata (desde algunos pocos segundos a un minuto).
- Fuente continua: el contaminante se libera a una velocidad que permite asumir un modelo estacionario por un largo período de tiempo, y produce plumas de gas o vapor cuya forma depende de las condiciones de estabilidad atmosférica que imperen en el momento de la liberación del material.

Otra característica es la duración del escape, que puede dar lugar a:

- Escapes instantáneos formando una bocanada ("puff")
- Escapes continuos sin depender del tiempo, formando una pluma ("plume").
- Escapes continuos dependiendo del tiempo.

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

Los escapes pueden ser en forma gaseosa, líquida o en fase mixta (líquido-gas); debe señalarse que en fase líquida y mixta la aportación másica del escape es muy superior y la velocidad de evaporación determinará la cantidad aportada para la formación de la nube. De ahí la peligrosidad de escapes de gases licuados de petróleo o de cloro licuado, por citar unos ejemplos típicos.

A partir de observaciones se ha encontrado que la concentración dentro de la pluma no es uniforme, sino que se tiene un máximo hacia el centro, disminuyendo hacia los bordes. Los resultados teóricos y experimentales indican que el perfil de la concentración dentro de la pluma sigue aproximadamente una curva de distribución en forma de campana, también llamada *distribución normal o gaussiana*.

En los modelos de difusión gaussiana se tiene que la concentración promedio de contaminante en la pluma o masa gaseosa, a una distancia  $x$  viento abajo del punto de emisión o del centro de la pluma, es inversamente proporcional a la cantidad de dispersión de la pluma en las direcciones lateral y vertical ( $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$ ), y a la velocidad del viento de transporte ( $U$ ).

$$C\alpha = \frac{Q}{U\sigma_z\sigma_y} \quad (3.1)$$

$C\alpha$  = concentración promedio del contaminante en la pluma o masa gaseosa  
 $Q$  = flujo o masa de contaminante emitido.  
 $\sigma_y$  = cantidad de dispersión de la pluma en las direcciones lateral  
 $\sigma_z$  = cantidad de dispersión de la pluma en las direcciones vertical  
 $U$  = velocidad del viento de transporte

El modelo gaussiano de fuente puntual continua supone que las concentraciones de contaminante en cualquier punto considerado viento abajo están estabilizadas y no dependen del tiempo. Este modelo describe el comportamiento de los gases/vapores de fuerza ascensional neutra, dispersados en la dirección del viento y arrastrados a la misma velocidad.

El modelo gaussiano permite obtener estimaciones de concentraciones en el aire, considerando condiciones de emisión y estabilidad atmosféricas particulares.

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

El modelo de Pasquill-Gifford se fundamenta en una dispersión gaussiana en los ejes horizontal y vertical. La fórmula normalizada para la dispersión de una fuente puntual elevada es:

$$C(x, y, z; He) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-He}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+He}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (3.2)$$

$C(x,y,z;He)$  = concentración en el punto x, y, z (kg/m<sup>3</sup>)

$Q$  = gasto de la emisión del gas, (kg/s)

$He$  = altura de la fuente emisora sobre el nivel del suelo más la elevación de la pluma, (m)

$\sigma_y = \sigma_z$  = coeficientes de dispersión de la nube en las direcciones x y z, (m).

$u$  = velocidad promedio del viento (m/s).

$\pi = 3.1416$

$x$  = distancia a partir del centro de la nube en la dirección del viento x, (m)

$y$  = distancia a partir del centro de la nube en la dirección lateral y, (m)

$z$  = distancia a partir del centro de la nube en la dirección vertical z, (m)

La utilización de esta fórmula está limitada a distancias entre 100 m y 10 km y es aplicable para períodos cortos de tiempo, hasta unos diez minutos, que es el tiempo promediado o tiempo de muestreo normalizado. Para periodos de tiempo superiores a diez minutos, la concentración viento abajo de la fuente de emisión es en cierta manera inferior, debido a la alteración de la dirección del viento.

Los modelos consideran el cálculo de la elevación de la pluma ( $\Delta h$ ) que se define como la diferencia entre la altura de la línea central final de la pluma y la altura inicial de la fuente. Esta elevación está originada por la fuerza ascensional y el impulso vertical del efluente.

Una de las fórmulas más empleadas para el cálculo de esta elevación es la de Holland y por medio del método de cálculo de Briggs. Los valores de  $\Delta h$  obtenidos con esta fórmula deben corregirse multiplicando por un factor que se presenta en la tabla 3.1, establecido por Pasquill-Gifford-Turner, que es función de las condiciones meteorológicas.

**Tabla 3.1 Factores de corrección de Pasquill-Gifford-Tuner**

<b>Categorías de Estabilidad Clases</b>	<b>Factor de corrección aplicado a <math>\Delta h</math> calculado por la fórmula de Holland</b>
A, B	<b>1.15</b>
C	<b>1.10</b>
D	<b>1.00</b>
<b>E, F</b>	<b>0.85</b>

Fuente: [http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_329.htm](http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp_329.htm) (2005)

Los factores que influyen en la dispersión de la pluma son: las condiciones meteorológicas y la duración del escape que tiene una gran importancia en el alcance de la dispersión de la pluma.

La estabilidad atmosférica viene definida en función del gradiente vertical de temperatura de las capas de aire. Se considera como un indicador de la turbulencia del aire; a mayor turbulencia atmosférica, más rápida será la dispersión. En la tabla 3.2 se muestran las estabilidades y características de estas [13].

**Tabla 3.2 Categorías de estabilidad atmosférica**

<b>ESTABILIDAD</b>	<b>CATEGORIA</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
A, B	Inestable	Implica una mayor turbulencia y dispersión más rápida. La dispersión de contaminantes se produce por convección y mezcla forzada (las parcelas de aire se mueven libremente hacia arriba o hacia abajo). En la situación típica de los días soleados, especialmente cuando la velocidad del viento y la humedad son bajas), y también cuando masas de aire caliente fluyen sobre superficies frías.
C	Neutral	El cambio de velocidad ambiental es aproximadamente igual al cambio de velocidad seca adiabática, la convección y la mezcla de las capas de aire se lleva a cabo sin forzar. Se relaciona con cielo nublado y velocidades del viento moderadamente fuertes.
D	Estable	Se presenta menos turbulencia y dispersión más lenta. El cambio de velocidad atmosférica es subadiabática (menor que la adiabática), la dispersión de los contaminantes se da por convección y mezcla forzada. Físicamente, este tipo de condiciones se da en días que tienen alturas de mezclado relativamente bajas, no hay fuentes de calor y la velocidad del viento es baja.
E, F	Muy estable	Se presenta una temperatura de inversión, es decir, la superficie de la tierra y la superficie próxima al aire que se enfría rápidamente y la temperatura aumenta con la altura. Es común que se presente por la noche con cielos bajos y claros (radiación inversa).

Fuente: [http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_329.htm](http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp_329.htm) (2005)

Los datos de velocidad del viento y estabilidad atmosférica, siempre que sea posible, deben obtenerse de estaciones meteorológicas locales. Dado que no siempre es posible disponer de esta información, se puede obtener la categoría de estabilidad atmosférica en la tabla 3.3 establecida por Pasquill estimada según las condiciones de insolación y velocidad del viento.

**Tabla 3.3 Categorías de estabilidad de Pasquill**

Velocidad del viento (m/s) a una altura de 10 m	Fuente	Insolación		Noche	
		Moderada	Ligera	Ligeramente nublado $0 \geq 4/8$ de nubosidad	$\leq 3/8$ nubosidad
< 2	A	A – B	B	----	----
2 – 3	A – B	B	C	E	F
3 – 5	B	B – C	C	D	E
5 – 6	C	C – D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

Fuente: [http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_329.htm](http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp_329.htm) (2005)

La noche se refiere al período comprendido una hora después de la puesta de sol hasta una hora antes del amanecer. El término de insolación fuerte se refiere a un mediodía soleado de verano y el término insolación ligera se refiere a condiciones similares en un día de invierno. Si durante el día o la noche se presenta nubosidad, se debe asumir que la condición de estabilidad atmosférica es D sin importar las condiciones de viento que se presenten.

La velocidad del viento se acostumbra a medir a 10 metros de altura. Esta velocidad, a niveles más bajos de 10 metros, se ve reducida notablemente debido a los efectos de rozamiento.

### Coefficiente de dispersión

Los coeficientes de dispersión  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  son los valores de las desviaciones estándares en las direcciones lateral y vertical respectivamente, que representan una medida de la dispersión de la pluma en dichas direcciones. Tales parámetros están en función de la distancia a la fuente emisora viento abajo y de la clase (categoría) de estabilidad atmosférica.

Se cuenta con gráficos ampliamente utilizados para obtener las  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  (ver ANEXO 1), obtenidos a partir de las fórmulas de Turner. Estos gráficos indican que para una determinada distancia viento abajo de la fuente de emisión, la amplitud de la pluma es máxima cuando la inestabilidad atmosférica es también máxima y es mínima cuando la atmósfera es muy estable.

Los valores obtenidos por estos gráficos o por las fórmulas que han dado lugar a ellos, solamente son aplicables en campo abierto y debe tenerse en cuenta que en condiciones inestables (A) y estables (F) se pueden cometer errores de varias veces en la estimación de  $\sigma_z$ . Para condiciones de estabilidad intermedias, la estimación de  $\sigma_z$  se puede esperar que como máximo, se desvíe al doble del valor estimado por los gráficos.

Es importante mencionar que los coeficientes calculados con la técnica de Pasquill son representativos para períodos de monitoreo de cerca de 10 minutos. En la realidad y debido a las

variaciones del viento, las concentraciones medidas viento abajo de un emisor disminuyen a medida que se incrementa el tiempo de muestreo superior a unos cuantos minutos.

El modelo de dispersión de un gas liberado en forma masiva instantánea, está desarrollado con base en las ecuaciones de distribución gaussiana de una nube o “puff” tridimensional, formada por la masa de una sustancia gaseosa que es liberada a la atmósfera en unos cuantos segundos, tal como sería la liberación de una nube de gas tóxico provocada por una explosión o ruptura de un tanque de almacenamiento.

Una característica básica es que se asume que la dispersión de la nube a lo largo de la dirección del viento ( $x$ ), es igual a la dispersión en la dirección lateral ( $y$ ). Por lo tanto se considera que el viento interviene únicamente como un vector de movimiento del puff, condicionando su posición viento abajo del punto de emisión, no existiendo dilución debida al viento. Así mismo, se involucran solamente concentraciones a nivel del piso  $z=0$ , dándole este valor a  $z$  en la ecuación 3.2 del modelo Pasquill-Gifford que se menciono anteriormente [14].

### 3.4 INCENDIO DE CHARCO O “POOL FIRE”

Como consecuencia de un derrame, fuga o escape de líquidos inflamables, se forma un charco de líquido cuya extensión dependerá de la geometría y naturaleza del suelo. Por evaporación se generan gases inflamables si la temperatura del líquido está por encima de la temperatura de ignición de la sustancia, lo que puede conducir a un incendio del propio charco. Al incendiarse se producen llamas, cuya altura depende principalmente del diámetro del charco y del calor de combustión. El incendio también puede tener lugar en el interior de un tanque de almacenamiento con un líquido inflamable.

En los incendios de charco el peligro se debe fundamentalmente a:

- La radiación térmica generada por los incendios.
- Los efectos de los posibles gases tóxicos generados en la combustión.

Los modelos empleados para simular un incendio de tipo charco calculan la velocidad de combustión y la radiación térmica emitida.

Los modelos emplean algunas ecuaciones semiempíricas para determinar la velocidad de combustión, que combinadas con otras determinan la radiación térmica y el flujo térmico incidente.

En los modelos de simulación empleados, el cálculo de la emitancia y la emisividad específica de la llama, así como el factor de visión y la absorción de la radiación por el humo y la atmósfera (fundamentalmente debido a la humedad relativa) conducen a los resultados finales de la radiación de calor a distintas distancias.

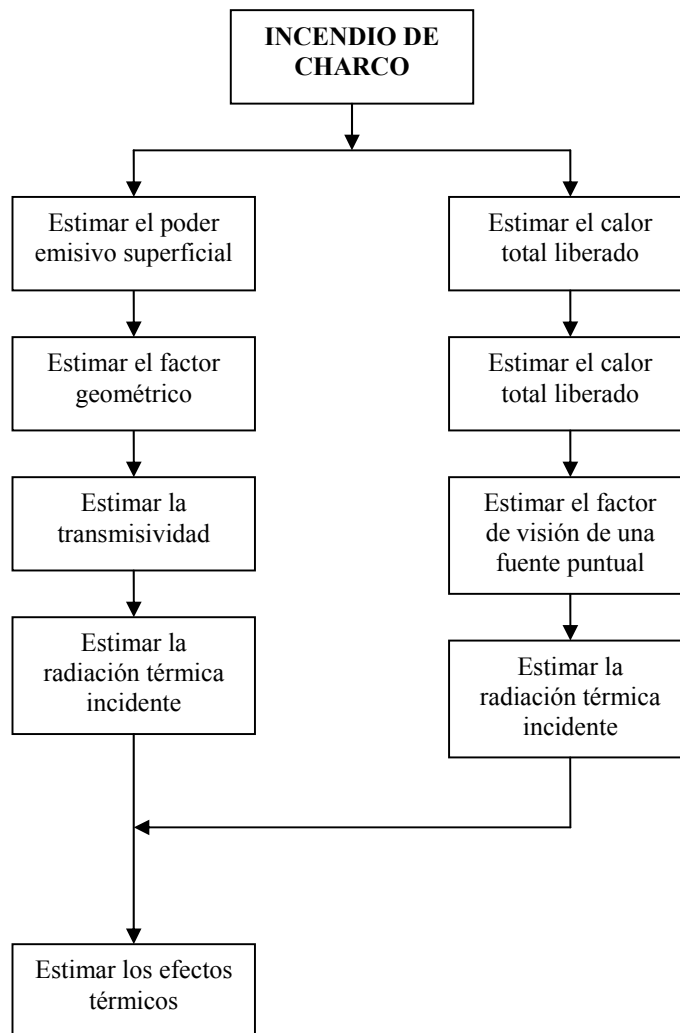
Para la modelación del incendio se supone que la llama es de forma cilíndrica. No obstante, puede ser aplicado también a llamas de base rectangular si la relación entre el lado mayor y el menor es menor de dos [38].

Datos necesarios:

- Entalpías de vaporización y combustión del producto que arde

- Temperatura de ebullición normal y el calor específico.
- Densidad del aire y presión parcial de vapor de agua.

Diagrama para el cálculo de los efectos por incendio de charco [15, 38].



### Poder emisorio superficial

$SEP$  = poder emisorio superficial

$PCT$  = poder de combustión total

$FR$  = fracción de radiación

$ASF$  = área de superficie de la flama

$$SEP = \frac{(PCT)(FR)}{ASF} \quad (3.3)$$

### Factor de visión geométrico

$$Fa = \frac{1}{4\pi x^2} \quad (3.4)$$

$x$  = distancia desde el punto de la fuente al objetivo

### Transmisividad

$$\tau = 2.02(P_w x)^{-0.09} \quad (3.5)$$

$\tau$  = transmisividad atmosférica (fracción de energía transmitida: 0 a 1)

$P_w$  = presión parcial del agua (Pascals, N/m<sup>2</sup>)

$x$  = longitud del camino, distancia de la superficie de la flama a el objetivo

### Radiación térmica incidente

$$Q_x = \tau E F_a \quad (3.6)$$

$Q_x$  = radiación térmica recibida a una distancia  $x$  (kW/m<sup>2</sup>)

$\tau$  = transmisividad atmosférica (adimensional)

$E$  = flujo emitido en la superficie por unidad de área (kW/m<sup>2</sup>)

$F_a$  = factor de visión geométrico, superficie de la flama al objetivo (adimensional)

Los resultados que se obtienen son:

- **Diámetro del charco** (máxima superficie que éste podría llegar a ocupar)

$$Ab_{\max} = \frac{dm/dt}{G_{ev}} \quad (3.7)$$

$dm/dt$  = caudal másico de fuga

$G_{ev}$  = flujo másico de evaporación (kg/m<sup>2</sup>)

Para líquidos muy volátiles (punto de ebullición inferior a la temperatura ambiente):

$$G_{ev} = 10^{-3} \frac{Hc}{Hv} \quad (3.8)$$



$H_c$  = entalpía de combustión (J/kg)

$H_v$  = entalpía de vaporización (J/kg)

- **Altura de las llamas**

$$\frac{H}{D} = 42 \left[ \frac{G_{ev}}{\rho_{aire} \sqrt{gD}} \right]^{0.61} \quad (3.9)$$

$H$  = altura de la llama (m)

$D$  = diámetro de la llama (m)

$G_{ev}$  = velocidad de evaporación (kg/m<sup>2</sup>s)

$\rho_{aire}$  = densidad del aire (normalmente 1.232 kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = aceleración de la gravedad (9.81 m/s<sup>2</sup>)

- **Duración del incendio**

$$t_c = \frac{m}{Ab_{max} M_b} \quad (3.10)$$

$m$  = masa total derramada

$Ab_{max}$  = diámetro del charco (m)

$M_b$  = flujo másico de evaporación

- **Radiación térmica**

$$\frac{q}{A} = \tau F_{max} E \quad (3.11)$$

$q/A$  = flujo radiante global que alcanza a una superficie expuesta

$\tau$  = atenuación atmosférica de la radiación térmica (transmisividad)

$F_{max}$  = factor de visión máximo para una superficie

$E$  = poder emisorio del fuego por unidad de superficie (W/m<sup>2</sup>).

### 3.5 DARDOS DE FUEGO O "JET FIRE"

Tanto en las tuberías como en los depósitos de gas a presión, la aparición de una pequeña fisura en las paredes trae como consecuencia la descarga del gas contenido formando un chorro de gas a presión. Si durante la descarga este chorro entra en contacto con una fuente de ignición, el resultado será la formación de un incendio en forma de chorro o, como normalmente se le llama, *dardo de fuego* o "jet fire".

Los efectos de este tipo de consecuencias son fundamentalmente los causados en el entorno por el calor generado e irradiado desde el dardo.

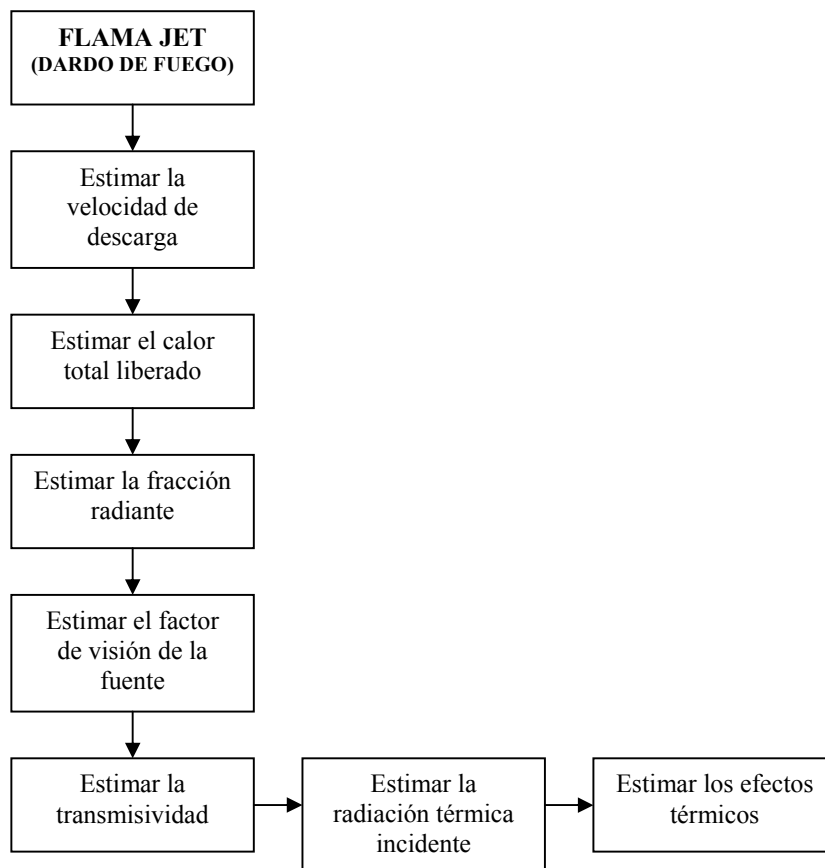
Para simular el comportamiento de un dardo de fuego se ha utilizado el modelo de Chamberlain (1987) propuesto por el "Yellow Book". Este modelo calcula tanto la forma del dardo, representado como un cono truncado; como la radiación superficial emitida por dicho cono, considerado como cuerpo sólido [39].

Los datos necesarios son:

- Datos de la sustancia descargada: peso molecular, temperatura de llama, calores específicos a presión y volumen constante, coeficiente de Poisson y calor de combustión.
- Datos del almacenamiento o tubería: presión y temperatura en tubería y/o almacenamiento.
- Datos de condiciones ambientales: temperatura, presión atmosférica, velocidad y dirección del viento y humedad relativa.

Los diferentes modelos de simulación calculan las dimensiones físicas del dardo de fuego y la radiación térmica que sufriría un receptor a una distancia determinada.

Diagrama para el cálculo de los efectos por radiación en un incendio tipo jet fire [15, 39].



**Velocidad de descarga**

$$G_v = C_d \frac{A\rho}{a_0} \phi \quad (3.12)$$

- $G_v$  = velocidad de descarga del gas (kg/s)
- $C_d$  = coeficiente de descarga (adimensional  $\leq 1.0$ )
- $A$  = área del orificio (m<sup>2</sup>)
- $p$  = presión absoluta de la corriente de salida (N/m<sup>2</sup>)
- $a_0$  = velocidad sónica del gas a  $T = (\gamma RT/M)^{1/2}$
- $M$  = peso molecular del gas (kg-mol)
- $R$  = constante de los gases (8310 J/kg-mol/°K)
- $T$  = temperatura de la corriente de salida (°K)
- $\gamma$  = ratio calor específico del gas ( $C_p/C_v$  adimensional)
- $\Phi$  = factor de flujo (adimensional)

El factor de flujo ( $\Phi$ ) se calcula dependiendo si el flujo es subsónico o sónico (las ecuaciones se encuentran reportadas en la literatura).

**Calor total liberado**

$$Q = G_{ev} E_c A \quad (3.13)$$

- $Q$  = calor total liberado
- $G_{ev}$  = velocidad de evaporación (kg/m<sup>2</sup>s)
- $E_c$  = calor de combustión (KJ/kg)
- $A$  = área del charco (m<sup>2</sup>)

**Factor de visión de la fuente**

$$F_p = \frac{1}{4\pi x^2} \quad (3.14)$$

- $F_p$  = factor de visión de la fuente (m<sup>-2</sup>)
- $x$  = distancia desde el punto de la fuente al objetivo (m)

**Transmisividad**

$$\tau = 2.02(P_w x)^{-0.09} \quad (3.15)$$

- $\tau$  = transmisividad atmosférica (fracción de energía transmitida: 0 a 1)
- $P_w$  = Presión parcial del agua (Pascals, N/m<sup>2</sup>)
- $x$  = longitud del camino, distancia de la superficie de la flama a el objetivo

**Dimensiones de la flama**

$$L = 9.1m^{0.5} \quad (3.16)$$

$$W = 0.25L \quad (3.17)$$

$$r_{s,50} = 1.9t^{0.4}m^{0.47} \quad (3.18)$$

$L$  = longitud de la flama (m)

$W$  = Tipo de flama a la mitad del ancho de una flama jet cónica

$m$  = velocidad de liberación (kg/seg; pero sujeto a  $1 < m < 3000$  kg/s)

$r_{s,50}$  = rango de peligro sobre un costado para 50% de letalidad (m, peso sujeto a  $r > W$ )

$t$  = tiempo de exposición (pero sujeto a  $10 < t < 300$  seg.)

**3.6 EXPLOSIONES DE NUBES DE VAPOR NO CONFINADAS "UVCE"**

Este tipo de explosiones es una de las consecuencias más graves en las industrias de proceso. Un escape de una sustancia inflamable (líquido volátil, gas o gas licuado), si no es detenido a tiempo, puede originar una nube de considerables dimensiones con gran probabilidad de encenderse con cualquiera de los diversos focos de ignición presentes en toda planta industrial, produciendo una deflagración o un incendio rápido que afectará a personas e instalaciones dentro de su radio de acción.

Las Explosiones de Nubes de Vapor No Confinadas, traducción de la expresión en inglés Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE) se puede definir como: Deflagración explosiva de una nube de gas inflamable que se encuentra en un espacio abierto, cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición.

Las explosiones no confinadas ocurren al aire libre y generalmente son originadas por un escape rápido de un fluido inflamable junto a una dispersión moderada para formar una nube inflamable muy grande de aire y el material.

Las explosiones confinadas son las que ocurren con alguna barrera de contención. Ejemplos de este tipo son las que suceden en recipientes o tuberías. También se incluyen las explosiones dentro de edificios. Las explosiones al aire libre que encuentran diversos obstáculos como pueden ser equipos de proceso, paredes de edificios, etc., pueden alcanzar cierto grado de confinamiento y turbulencia originando sobrepresiones superiores a las de explosiones no confinadas.

En las deflagraciones, la velocidad en que el frente de llamas avanza es inferior a la velocidad del sonido; el tiempo que transcurre entre el inicio y la finalización de la misma, aunque parezca virtualmente instantánea, es finito y típicamente comprendido entre 100 y 200 milisegundos. Contrariamente, en el caso de la detonación dicha velocidad es mucho más elevada, superando la velocidad del sonido.

Estas características diferentes entre deflagración y detonación hacen que en el caso de la segunda, salvo para gases y líquidos en tuberías, no se pueda disponer de elementos que limiten sus consecuencias en el caso de producirse, ya que no se dispone del tiempo de respuesta adecuado, necesario en todo elemento de protección, además de que las presiones que genera son mucho más elevadas.

Si una deflagración ocurre a cielo abierto, se producen llamas y hay una disipación de calor y gases de combustión; si tiene lugar en un recinto cerrado, la presión debida a los gases de combustión se incrementa a gran velocidad alcanzando valores de hasta diez o más veces la presión inicial absoluta del recinto, dependiendo del tipo de producto. Es este el caso de deflagraciones ocurridas en equipos industriales, en los cuales el calor y la presión son retenidos en su interior, sometiéndoles a condiciones para las cuales no han sido diseñados con el resultado final de su destrucción.

En general, las explosiones de nubes de vapor no confinadas son deflagraciones y en contadas ocasiones se han transformado en detonaciones. Esto ha sido ocasionado por las causas anteriores que provocan cierto confinamiento y a las que también se puede añadir las fuentes de ignición potentes.

En el caso de no alcanzarse una deflagración, se tendría un incendio rápido en forma de llamarada sin producir onda de presión. Su efecto más importante sería la radiación térmica, este tipo de incendio se ve favorecido por un escape permanente de un fluido inflamable junto a una reducida dispersión del mismo.

La onda de choque que se propaga en el aire tiene una serie de características o parámetros que pueden ser medidos y otros que pueden correlacionarse según los daños provocados. El parámetro generalmente más definido y medido es la sobrepresión generada por la onda de presión no perturbada conforme se propaga a través del aire.

El problema de explosión de una nube de vapor no confinada es que, aparte de que es grande y destructiva, puede afectar a una gran distancia del punto de escape.

### **Modelo TNT de evaluación**

Existen diversos modelos empíricos para la determinación de los parámetros necesarios para la evaluación de los daños de una explosión. El más empleado es el modelo del equivalente en TNT (trinitrotolueno). Se basa en la hipótesis de la equivalencia en efectos explosivos entre una masa determinada de materia inflamable y otra de TNT.

En la explosión de una nube de vapor, la forma de la onda inicial de la explosión es diferente que en una explosión de TNT, pero a partir de una cierta distancia ambas se pueden considerar iguales. El modelo asume que la energía desprendida por la explosión de la nube se expresa por su equivalente en toneladas de TNT [16].

La ecuación representativa es:

$$Ed = \frac{W\Delta HcE}{4.03 \cdot 10^6} \quad (3.19)$$

$Ed$  = energía generada expresada en peso de TNT, que produce una fuerza equivalente a la explosividad de la nube (Ton TNT).

$W$  = peso de material en la nube (lb)

$\Delta H_C$  = calor de combustión del material (Btu/lb)

$4.03 \times 10^6$  = calor de combustión del TNT (Btu/ton) [32].

Otras fuentes bibliográficas (Baker et al) dan el calor de combustión experimental del TNT 4520 kJ/kg; Kinney da como valor experimental 4689 kJ/kg

$E$  = factor de explosividad

El cálculo del peso de material en la nube, depende de las condiciones de presión y temperatura a las cuales esta almacenada la sustancia inflamable o bien a las condiciones del proceso.

En este caso para los gases licuados por efecto de presión o temperatura, al producirse la fuga se considera que todo el material pasa a la fase gaseosa:

$$W = WI \quad (3.20)$$

$W$  = peso de material en la nube (lb)

$WI$  = peso del líquido en el proceso (lb)

El factor  $E$  es adimensional y determina la fracción del calor de combustión que sirve para producir las ondas de sobrepresión. Para muchos materiales el valor de  $E$  se encuentra dentro del rango 0.01-0.1.

En una nube de vapor no confinada, la energía de la onda de explosión es generalmente sólo una pequeña fracción de la energía teóricamente disponible de la combustión de toda la materia que constituye la nube.

### **Determinación del diámetro de las ondas expansivas (Doe)**

Una vez que se produce la explosión, se generan una serie de ondas expansivas circulares o de sobrepresión, de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube y las de menor presión se sitúan en circunferencias mayores. El objetivo es determinar la magnitud de los diámetros asociados a las ondas de sobrepresión y los daños producidos en instalaciones.

La determinación de los diámetros de los círculos de sobrepresión se efectúa a través de funciones del tipo:

$$Doe = Z(Ed)^{1/3} \quad (3.21)$$

$Doe$  = diámetro de la onda expansiva (ft)

$Ed$  = energía desprendida por la explosión (ton TNT)

$Z$  = distancia escalada para la sobrepresión considerada (ft/ton<sup>1/3</sup>)

La expresión de la Distancia Escalada es:

$$Z = \frac{R}{W^{1/3}} \quad (3.22)$$

$R$  = distancia real en metros (m).

$W$  = masa equivalente de TNT en kilogramos (kg).

La eficacia o rendimiento de una explosión es el coeficiente entre la energía real liberada y la teóricamente disponible.

Normalmente se supone que toda la materia inflamable de la nube está disponible para la combustión y que la energía teóricamente disponible es por lo tanto el producto de la cantidad total de materia inflamable en la nube por el calor de combustión (potencia calorífica). Sobre esta base, el rendimiento de la explosión está normalmente en el rango de 1 a 10%. Podría ser algo superior cuando el escape en ambiente exterior esté constreñido por edificaciones u otras barreras materiales [14].

### 3.7 EXPLOSIÓN POR LA EXPANSIÓN DEL VAPOR DE UN LÍQUIDO EN EBULLICIÓN “BLEVE”

Una BLEVE es un tipo de explosión mecánica cuyo nombre procede de sus iniciales en inglés Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion cuya traducción sería *"Explosión expansiva del vapor de un líquido en ebullición"*.

La BLEVE es un caso especial de estallido catastrófico de un recipiente a presión en el que ocurre un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentados.

Para que se produzca una explosión BLEVE no es necesaria la existencia de reacciones químicas ni fenómenos de combustión. Podría producirse incluso en calentadores de agua y calderas de vapor. En principio podría originarse en cualquier líquido almacenado en un recipiente hermético, aunque hay explosiones que pueden confundirse con una BLEVE sin serlo. Las BLEVES son exclusivas de los líquidos o gases licuados en determinadas condiciones.

Normalmente las BLEVE's se originan por un incendio externo que incide sobre la superficie de un recipiente a presión, especialmente por encima del nivel líquido, debilitando su resistencia y acabando en una ruptura repentina del mismo, dando lugar a un escape súbito del contenido, que cambia masivamente al estado de vapor, el cual si es inflamable da lugar a la conocida bola de fuego (fireball). Esta última se forma por deflagración (combustión rápida) de la masa de vapor liberada. Debido a que esta circunstancia es el escenario normal, al hablar de explosiones BLEVE's y sus consecuencias, se incluye en sentido amplio a la bola de fuego, aunque debe quedar claro que esta última sólo ocurre cuando el producto es inflamable.

La característica fundamental de una BLEVE es la expansión explosiva de toda la masa de líquido evaporada súbitamente, aumentando su volumen más de 200 veces. La gran energía desarrollada en esa explosión repentina proyecta fragmentos rotos de distintos tamaños del

recipiente a considerables distancias. Precisamente ésta es una prueba de confirmación de una BLEVE. Los fragmentos proyectados pueden arrastrar tras de sí a cierta masa de líquido en forma de finas gotas con posibilidad de inflamación a considerables distancias.

Tras producirse el estallido del recipiente, la gran masa evaporada asciende en el exterior, arrastrando finísimas partículas de líquido y entrando en combustión en caso de incendio en forma de hongo, con la gran bola de fuego superior tras un instante de haberse producido la difusión en el aire por debajo del límite superior de inflamabilidad. Dicha bola de fuego se irá expandiendo a medida que va ardiendo la totalidad de masa de vapor liberada.

Para que se origine una explosión BLEVE tienen que concurrir las condiciones siguientes que son interdependientes entre sí:

**1.-Producto en estado líquido sobrecalentado.** Se entiende como tal cuando su temperatura es superior a la que le correspondería si se hallara en equilibrio con su presión de vapor. Esta situación de inestabilidad se presenta bajo una exposición del recipiente a un incendio o en recipientes sobrellenados. No toda temperatura de sobrecalentamiento permite la formación de BLEVES. Debe superarse una temperatura límite. En caso de fisura de un depósito, incluso pequeña, y producirse un descenso de la presión para igualarse a la atmosférica, el gas licuado estará ineludiblemente en condiciones de sobrecalentamiento que podría fácilmente llegar a ser muy peligroso.

**2.-Bajada súbita de la presión (isoentrópica) en el interior del recipiente.** Tal descenso de presión puede ser debido a causas tales como: desprendimiento del disco de ruptura, pérdida de resistencia del recipiente en un incendio con la consiguiente ruptura del mismo, perforación del recipiente por impacto, ruptura por sobrellenado, corrosión e incluso disparo de válvulas de seguridad mal diseñadas. Cuanto mayor sea la caída de presión, mayores serán también los efectos de la BLEVE en caso de producirse. El tamaño de la abertura inicial del depósito es determinante en la rapidez del descenso de presión y en la zona afectada por la nucleación. En determinadas condiciones de presión y temperatura, un líquido sobrecalentado que se ha expuesto a un descenso súbito de presión, puede evaporarse de forma extremadamente violenta al cambiar de estado masivamente por un proceso de formación espontánea y generalizada de burbujas de vapor (nucleación).

Una BLEVE presenta los siguientes fenómenos:

- Radiación térmica por la bola de fuego que se forma.
- Sobrepresiones por la onda expansiva.
- Proyección de fragmentos metálicos o proyectiles del depósito y piezas adyacentes.

De todos los efectos, el que generalmente tiene un alcance mayor es el de la radiación. Los factores que influyen fundamentalmente en dicho efecto son el tipo y cantidad de producto y las condiciones ambientales, fundamentalmente temperatura y humedad relativa. Con respecto al efecto de sobrepresión, depende fundamentalmente de la presión de almacenamiento, la relación de calores específicos del producto implicado y de la resistencia mecánica del depósito. La formación de proyectiles no está todavía del todo resuelta y normalmente se utiliza un método indirecto para su determinación y cuantificación.

Para la cuantificación de estos tres tipos de consecuencias se han desarrollado diferentes modelos empíricos de análisis que han recogido las experiencias de accidentes sucedidos.



La proyección de fragmentos metálicos de diferentes tamaños del recipiente explotado podría alcanzar distancias considerables, incluso de hasta 1000 m.

Si bien los daños graves a personas por lesiones pulmonares y/o ruptura de tímpano no suelen ocurrir a más de 100 m de la superficie exterior de la bola de fuego, los daños estructurales considerables podrían alcanzar en casos extremos 500 m desde el centro de la explosión [40].

### 3.7.1 Bola de Fuego: “Radiación Térmica”

Como se ha comentado anteriormente, la bola de fuego se produce cuando tras producirse el estallido del depósito, la gran masa evaporada de sustancia inflamable asciende en el exterior, arrastrando finas partículas de líquido y entrando en combustión en forma de hongo al haberse producido la difusión en el aire por debajo del límite superior de inflamabilidad. A medida que se expande la masa de vapor, la bola de fuego se irá expandiendo.

Existen varios modelos matemáticos para calcular las afectaciones por bola de fuego y se describirá a continuación uno de ellos. El modelo que se describe utiliza ecuaciones semiempíricas para determinar el diámetro, la duración y la potencia emisiva de la bola de fuego. Se aplica únicamente a bolas de fuego al aire libre. Permite obtener el flujo de radiación térmica sobre una superficie cercana a la bola de fuego [40].

Las características sobre la bola de fuego formada por la combustión de la masa vaporizada son:

- El diámetro de la bola de fuego.
- La altura de dicha bola.
- La duración máxima de la deflagración.

#### *Diámetro de la bola de fuego*

El diámetro de la bola de fuego se puede obtener mediante la siguiente ecuación [15, 40]:

$$D = 6.48 \cdot W^{0.325} \quad (3.23)$$

$D$  = diámetro máximo de la bola de fuego (m).

$W$  = masa total del combustible (kg).

#### *Altura de la bola de fuego*

$$H = 0.75D \quad (3.24)$$

$H$  = altura del centro de la bola (m).

$D$  = diámetro máximo (m).

#### *Duración de la bola de fuego*

$$t = 0.852W^{0.26} \quad (3.25)$$

$t$  = tiempo de duración (s).

$m$  = masa total del combustible (kg).

Se han determinado experimentalmente duraciones de bolas de fuego de hasta tres minutos para esferas de gran capacidad.

### ***Radiación térmica recibida***

La radiación térmica recibida en un punto determinado se obtiene mediante la siguiente ecuación genérica:

$$I = dFE \quad (3.26)$$

$I$  = irradiación recibida (kW/m<sup>2</sup>).

$d$  = coeficiente de transmisión atmosférica.

$F$  = factor geométrico de visión (adimensional).

$E$  = intensidad media de radiación (kW/m<sup>2</sup>).

El coeficiente de transmisión atmosférica es función de la humedad relativa del aire y de la distancia al punto en cuestión.

$$d = 2.02(P'_v x)^{-0.09} \quad (3.27)$$

$P'_v$  = presión parcial absoluta del vapor en el aire ambiental (Pa) (1 bar = 10<sup>5</sup> Pa).

$x$  = distancia entre la envolvente de la bola de fuego y el punto considerado (m).

El factor geométrico  $F$  es un coeficiente que depende de la forma del foco emisor y receptor, y de la distancia.

En el caso de BLEVES, al asemejarse la bola de fuego a una esfera y el cuerpo receptor a una superficie normal a la radiación directa en la línea procedente del centro de la esfera, se demuestra que el factor geométrico tiene el valor:

$$F = \frac{D^2}{4x^2} \quad (3.28)$$

$D$  = diámetro máximo de bola de fuego (m).

$x$  = distancia entre el centro de la esfera y el cuerpo irradiado (m).

La intensidad media de radiación  $E$  es el flujo radiante por unidad de superficie y tiempo, y se calcula según la siguiente expresión:

$$E = \frac{f_r WH_c}{\pi D^2 t} \quad (3.29)$$

siendo  $f_r$  un coeficiente de radiación que puede oscilar entre 0,25 y 0,40. El coeficiente  $f_r$  nos indica la fracción de la energía total desarrollada en la combustión, ya que esta energía se ve reducida por las pérdidas, fundamentalmente en la convección de humos.

$f_r$  = coeficiente de radiación

$W$  = masa total del combustible en el BLEVE (kg).

$H_c$  = calor de combustión (kJ/kg).

$D$  = diámetro máximo de la bola de fuego (m).

$t$  = tiempo de duración de la BLEVE (s).

### 3.7.2 Sobrepresión: “Explosión Súbita del Vapor en Expansión”

El modelo propuesto permite obtener la sobrepresión producida por la onda de presión debida a la explosión del depósito a una distancia dada. El modelo se basa en el método de Brode para la determinación de la sobrepresión debida al estallido de depósitos esféricos.

Este método es aplicable a depósitos de geometría esférica, no obstante, puede obtenerse una aproximación a otros tipos determinando uno esférico equivalente.

Aunque en rigor el método es válido para sobrepresiones de 0,1 bar, puede extrapolarse hasta 0,05 bar con un error por defecto inferior al 20% [40].

Los datos necesarios a suministrar al modelo son:

- Presión y volumen del depósito.
- Relación de calores específicos del producto que se expande.

La energía involucrada en el estallido se calcula mediante la expresión:

$$E = \frac{P - P_{atm}}{\gamma - 1} V \quad (3.30)$$

$E$  = energía liberada en el estallido (KJ).

$P$  = presión de los gases en el interior del tanque en el momento de la explosión (KPa).

$P_{atm}$  = presión atmosférica (101,3 kPa).

$\gamma$  = coeficiente de capacidades caloríficas del gas en las condiciones del estallido (adimensional).

$V$  = volumen del tanque (m<sup>3</sup>)

La presión de los gases en el interior del tanque en el momento de la explosión se puede estimar a partir de las condiciones de diseño del tanque. Se suele tomar como valor de cálculo 1,25 veces la presión de tarado de las válvulas de seguridad.

El coeficiente de capacidades caloríficas del gas en las condiciones de estallido se calcula teniendo en cuenta que el fluido experimenta un proceso isócoro (a volumen constante), desde las condiciones nominales hasta las de estallido.

Se determina una "escala de longitudes" que relaciona distancias con sobrepresiones reducidas P.

Finalmente, la "sobrepresión" se determina mediante:

$$\Delta P = P_{atm} \cdot P \quad (3.31)$$

### 3.7.3 Proyección de Fragmentos: Projectiles

La onda de presión que se genera como consecuencia de la explosión, provoca la destrucción del tanque en un número determinado de fragmentos, según las características físicas de resistencia del depósito. Parte de la energía generada en la explosión se utiliza para la generación de ondas de presión y parte para proyectar esos fragmentos. Normalmente esta fracción de energía se distribuye entre un 80% para la generación de ondas de presión y un 20% para los fragmentos [40].

Esta energía de la explosión se transforma en energía cinética de los proyectiles que serán desplazados a una determinada distancia.

Un determinado fragmento tendrá por tanto la velocidad media de:

$$U_0 = \sqrt{\frac{2Ef}{Mr}} \quad (3.32)$$

$U_0$  = velocidad media de un fragmento (m/s).

$Ef$  = energía disponible para la proyección de fragmentos (J)

$Mr$  = masa del recipiente (kg).

La velocidad en función de la distancia se determina por:

$$U(r) = U_0 \exp\left(-C_w A_f \rho_{aire} \frac{r}{m_f}\right) \quad (3.33)$$

$U(r)$  = velocidad a distancia r (m/s).

$U_0$  = velocidad media de un fragmento (m/s).

$C_w$  = coeficiente aerodinámico del fragmento (adimensional)

$A_f$  = superficie del fragmento perpendicular a la trayectoria (m<sup>2</sup>).

$\rho$  = densidad del aire (kg/m<sup>3</sup>)

$r$  = distancia (m)

$m_f$  = masa del fragmento (kg)

La distancia máxima de alcance del fragmento se halla a través de las siguientes iteraciones:

$$r_{m+1} = \frac{h \cdot U(r_m)}{g \cdot t} \quad (3.34)$$

$r_{m+1}$  = distancia r+1 (m).

$h$  = altura del lanzamiento (m)

$U(r_m)$  = velocidad del fragmento a distancia r (m/s)

$g$  = aceleración de la gravedad ( $m/s^2$ ).

$t$  = tiempo de alcance (s)

El número de fragmentos se puede determinar a partir de la siguiente expresión:

$$N^{\circ} \text{ fragmentos} = -3.77 + 0.0096V \quad (3.35)$$

$V$  = volumen del depósito ( $m^3$ )

Válido para depósitos comprendidos entre 700 y 2,500  $m^3$ .

Cabe mencionar que este efecto no lo calcula ningún programa de simulación.

## CAPÍTULO 4

### PROCESOS DE PRODUCCIÓN, USOS Y MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA AMONIACO, CLORO Y GAS L.P

De acuerdo con la información generada por el área de riesgos químicos del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), sobre almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en México se identifican 14 sustancias químicas peligrosas almacenadas en instalaciones industriales que realizan actividades consideradas de altamente riesgosas, las cuales representan mayor importancia en el país debido a su peligrosidad, su volumen de almacenamiento y a que se encuentran almacenadas en varias entidades federativas. De estas sustancias se eligieron tres para las cuales se reportan los mayores volúmenes de almacenamiento, y porque permiten representar los eventos químicos más importantes que pueden ocurrir como son incendio, explosión y la formación de nubes tóxicas, dichas sustancias son:

- ❖ Gas Licuado de Petróleo
- ❖ Amoniaco
- ❖ Cloro

Para las sustancias anteriores se determinarán las posibles distancias de afectación mediante la aplicación de modelos matemáticos de simulación (ARCHIE, ALOHA y SCRI), en caso de que ocurriera un accidente grave que pusiera en riesgo a la población, a sus bienes, a las instalaciones y al ambiente. Un accidente de estas características se produce comúnmente a partir de una fuga o derrame incontrolado de una sustancia química peligrosa de su lugar de confinamiento (depósitos, tuberías, reactores, válvulas, bombas, etc.).

La importancia de determinar estas distancias de afectación es debido al aumento de accidentes industriales, lo cual se encuentra asociado a que las zonas industriales están rodeadas de población, a un importante incremento de la industria química y la notable evolución de la misma, al aumento casi constante de su tamaño y el consiguiente incremento de los inventarios de las sustancias químicas contenidas en dichas plantas en su mayoría peligrosas, lo cual representa un riesgo para la población y el ambiente.

#### 4.1 AMONIACO

##### 4.1.1 Generalidades

El amoniaco es un gas de olor picante, incoloro y muy soluble en agua. Una disolución acuosa saturada contiene un 45% en peso de amoniaco a 0°C y un 30% a temperatura ambiente.

El amoniaco era conocido por los antiguos, quienes lo obtuvieron a partir de la sal amónica, producida por destilación del estiércol de camello cerca del templo de Júpiter Amón en Libia, y de ahí su nombre. En Europa, durante la edad media, el amoniaco se obtenía calentando los cuernos y pezuñas de bueyes, y se llamaba espíritu de cuerno de ciervo. El alquimista alemán Basil Valentine obtuvo el amoniaco libre, y el químico francés Claude Berthollet determinó su composición en torno a 1777.

En el siglo XIX, la principal fuente de amoníaco fue la destilación de la hulla; era un derivado importante en la fabricación de los combustibles gaseosos. Hoy, la mayoría del amoníaco se produce sintéticamente a partir de hidrógeno y nitrógeno por el proceso de Haber, que consiste en pasar una mezcla estequiométrica de hidrógeno y nitrógeno a través de un lecho catalizador, formado principalmente por óxidos de hierro, en el que se mantiene una temperatura de unos 500 °C pues, aun empleando catalizadores, la velocidad es muy lenta a temperaturas inferiores y no es rentable económicamente. La reacción es reversible y exotérmica.

Los procesos industriales actuales utilizan como materia prima el aire atmosférico para el nitrógeno y los hidrocarburos para el hidrógeno, principalmente gas metano o hidrocarburos obtenidos de procesos de refino del petróleo [41].

#### 4.1.2 Usos

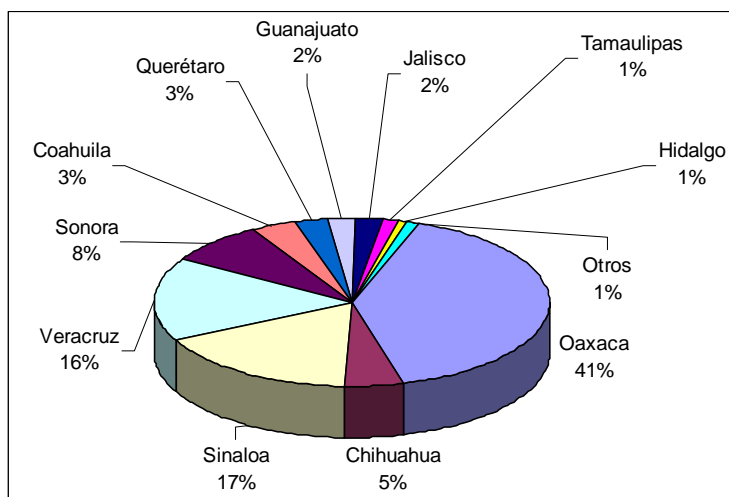
- Se utiliza como refrigerante ya que es muy importante en la industria química
- Fabricación de fertilizantes (abonos nitrogenados)
- Fabricación de explosivos
- La mayor parte de éste se utiliza para la fabricación de ácido nítrico
- También se consume gran cantidad de amoníaco en diversas industrias orgánicas, de colorantes, plásticos, fibras sintéticas, drogas, etc.
- Una pequeña parte se utiliza como líquido de refrigeración de máquinas frigoríficas.
- Fabricación de caprolactama.
- Fabricación de químicos como: el nitrilo acrílico y sales de amonio.
- Usos generales como producto de salida o intermediario para la fabricación de productos con contenido en nitrógeno en la industria química.
- Eliminación de monóxidos de nitrógeno de gases de escape de combustión.
- Para fines de neutralización.
- Fabricación de productos farmacéuticos.
- Fabricación de pegamentos.
- Plateado de espejos [43].

#### 4.1.3 Almacenamiento de Amoníaco en México

Tipos de almacenamiento:

1. Almacenamiento refrigerado.-Es aquel en el cual la temperatura del amoníaco anhidro es aproximadamente -33 °C, con presión prácticamente igual a la atmosférica.
2. Almacenamiento semirrefrigerado.-Es aquél en el cual la temperatura del amoníaco es sensiblemente superior a -33 °C, pero inferior a la temperatura ambiente, con presión superior a la atmosférica.
3. Almacenamiento no refrigerado.-Es aquel en el cual la temperatura máxima que puede alcanzar el amoníaco anhidro es igual a la máxima temperatura ambiente, con presión muy superior a la atmosférica [6].

En la Figura 4.1 se muestran los estados que tienen mayor cantidad almacenada de amoniaco en México con sus porcentajes respecto al volumen total almacenado en el país [17].



**Figura 4.1 Estados de la República Mexicana en los que se almacena Amoniaco en grandes cantidades (CENAPRED, 2003).**

En la tabla 4.1 se presenta la cantidad de amoniaco almacenada en toneladas por estado [17].

**Tabla 4.1 Estados de la república en los que se almacena amoniaco (CENAPRED, 2003)**

Estado	Toneladas
Oaxaca	100,065
Chihuahua	11,653
Sinaloa	42,517
Veracruz	39,966
Sonora	20,420
Coahuila	8,692
Querétaro	7,092
Guanajuato	5,652
Jalisco	5,145
Tamaulipas	3,442
Hidalgo	1,360
Otros	2,905

Los principales productores de amoniaco en México son: Petroquímica Cosoleacaque, S.A. de C.V., Morelos S.A. de C.V., Pajaritos S.A. de C.V., Tula S.A. de C.V., Cangrejera S.A. de C.V. y Escolín S.A. de C.V.



#### 4.1.4 Medidas de Seguridad

- Si el amoniaco se almacena al aire libre, los recipientes deberán quedar situados a por lo menos 15 metros de cualquier construcción. Las áreas de almacenamiento deben estar lejos de cualquier líquido inflamable, de productos químicos como oxígeno, halógenos y ácidos. La presencia de aceites u otros materiales combustibles incrementa el riesgo de incendio.
- Los contenedores que contengan amoniaco no deberán ser manejados o almacenados cerca de instalaciones o equipos eléctricos vivos, tales como subestaciones, transformadores, cuartos de interruptores, motores, etc. El amoniaco en su almacenamiento, se puede juntar con materiales tóxicos o con productos inflamables; sin incremento del riesgo intrínseco de cada uno de ellos.
- No llenar el tanque de amoniaco más del 85% de su capacidad.
- Reemplazar mangueras dañadas o que ya hayan cumplido su tiempo de vida media. Las mangueras deben ser reemplazadas a los cinco años de la fecha estampada en la misma.
- Siempre usar el equipo de protección apropiado.
- Desaguar amoniaco presurizado de la manguera antes de conectar o desconectar.
- Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado y alejado de toda llama o punto de ignición.
- No fumar [43].

#### 4.1.5 Atención de Emergencias

##### Medidas contra incendios:

##### Riesgos específicos:

- Difícilmente inflamable
- La exposición al fuego de los recipientes puede causar su rotura o explosión

El amoniaco puede provocar fuego o explosión en presencia de: mercurio, halógenos, agua de cloro para blanquear, platino, cloronitrobenzono y acetato de vinilo. En presencia de aceites u otros materiales combustibles, se incrementa el riesgo de incendio.

##### Medidas de extinción adecuadas:

De acuerdo al fuego que rodee al producto se pueden utilizar:

- Se recomienda para fuegos pequeños:
  - Utilizar extintores de polvo químico seco o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).
- Para incendios mayores se recomienda:
  - El uso de agua en forma de rocío (debido a que el amoniaco es soluble en ella), niebla o espuma regular.
  - Mover los contenedores del área de fuego si se puede hacer sin ningún riesgo.
  - No introducir agua en los contenedores.
  - Los cilindros dañados, deberán ser manejados solamente por especialistas.
- Para incendio que involucra tanques:
  - Combatir el incendio desde una distancia máxima o utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores.
  - Usar agua pulverizada para enfriar los recipientes y estructuras expuestas al fuego, para dispersar los vapores y proteger al personal. No proyectar agua a chorro al amoniaco líquido o directamente en la fuente de la fuga porque puede ocurrir congelamiento. Enfríe los contenedores con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido.

- No ponga agua directamente a la fuente de la fuga o mecanismos de seguridad; puede ocurrir congelamiento.
- Retírese inmediatamente si sale un sonido creciente de los mecanismos de seguridad de las ventilas, o si el tanque se empieza a decolorar.
- Siempre manténgase alejado de tanques envueltos en fuego.

**Productos peligrosos de la combustión:**

- Si el amoniaco está involucrado en un fuego pueden producirse por descomposición térmica humos corrosivos o tóxicos de óxidos de nitrógeno.
- Al mezclar óxido de etileno y disoluciones acuosas de amoniaco, puede iniciarse violentamente una polimerización.

**Equipo de protección personal:**

1. En operación:
  - a. El personal de almacenamiento dispondrá de:
    1. Guantes de goma o de similar resistencia al amoniaco anhidro.
    2. Gafas de seguridad con ajuste a la cara.
    3. Equipos de protección respiratoria.
  - b. Durante trabajos de conexión o desconexión de tuberías y mangueras de carga y descarga, y siempre que exista riesgo de contacto con amoniaco anhidro líquido o gaseoso, el personal del almacenamiento llevará puesto:
    1. Guantes de goma o de similar resistencia al amoniaco anhidro.
    2. Traje o mandil impermeable de plástico o similar.
    3. Botas resistentes al amoniaco anhidro.
    4. Equipo respiratorio con adaptador facial que cubra toda la cara, de tipo autónomo o de cartucho.
2. En emergencia.- Para entrar en atmósfera concentrada de amoniaco anhidro se dispondrá, en lugares cercanos y accesibles durante la emergencia, de:
  - a. Trajes herméticos de encapsulamiento total.
  - b. Equipos respiratorios autónomos de presión positiva.
  - c. Cuerdas salvavidas.
  - d. Cinturones de seguridad.

**Medidas en caso de fuga o derrame:**

- Como primera medida para atender una fuga o derrame de amoniaco, el personal involucrado invariablemente deberá usar de acuerdo a las condiciones de exposición: traje encapsulado o integral de neopreno y equipo autónomo de respiración. Solo personal debidamente protegido deberá permanecer en el área.
- Evacuar el área de escape en la dirección contraria del viento siempre que se pueda y sea seguro. Sino quedarse dentro y cerrar todas las ventanas y puertas y desconectar los ventiladores y equipos eléctricos.
- En derrames pequeños (de un envase pequeño o de una fuga pequeña en un envase grande). Primero aislar a la redonda 30 metros; luego, proteja a las personas en la dirección del viento durante el día 200 metros y durante la noche 200 metros.
- Derrames grandes (de un envase grande o de muchos envases pequeños). Primero aislar a la redonda 60 metros, luego proteja a las personas en la dirección del viento durante el día 500 metros y durante la noche 1,100 metros.
- Aislar las fuentes de derrame lo más rápidamente posible por personal entrenado.
- Si al derrame o a la fuga en fase gaseosa se puede acceder sin riesgo, detenerlas: usando agua en forma de niebla para reducir vapores, conteniendo el agua amoniacal formada para su posterior disposición. Evite la flama, chispa o cualquier otra fuente de ignición.

- Si la fuga es en contenedores, si es posible voltearlos para que el escape sea gas en lugar de líquido.
- En el caso de que se presenten fugas en carro tanques y auto tanques, éstos deberán ser trasladados a un área bien ventilada y alejada de las instalaciones y en caso de que la fuga no pueda controlarse, el producto deberá trasegarse, controlando la fuga durante el trasiego con la aplicación de agua en forma de niebla.
- No aplicar agua directamente a los grandes derrames de amoníaco.
- Si el derrame de amoníaco líquido se presenta en un conducto, si es factible; deberán de cerrarse las válvulas de corte que aíslan en el punto de fuga o derrame.
- Si este último afecta al suelo, deberá contenerse mediante la formación de diques de tierra, sacos con arena o espuma de poliuretano. El líquido se absorbe con algún producto comercial para contener derrames.
- Si el derrame es en el agua, neutralizar con ácido diluido. Si la concentración es de 10 ppm o mayor, se puede agregar 10 veces la cantidad derramada de carbón activado. Después sacar los residuos sólidos.

**Precauciones para la protección del medio ambiente:**

- Recoger el agua utilizada en la precipitación de la nube de gas y neutralizarla antes de verterla al alcantarillado [44, 45].

**4.2 CLORO****4.2.1 Generalidades**

Hace más de 200 años, un joven investigador sueco, Carl Wilhelm Scheele, descubrió el cloro. Debido a su reactividad y características de formar aleaciones, el cloro se tornó como piedra fundamental en la química ya que interviene, directamente o como intermediario, en más del 50% de la producción química industrial mundial y es parte integrante de la vida misma de la industria (aeroespacial, mecánica, telecomunicaciones, transportes, informática, química, etc). Puede decirse que el cloro es la espina dorsal de la química. Sin el cloro muchos aspectos de la vida moderna que consideramos normales no serían posibles.

La química del cloro crea bienestar y calidad de vida. En nuestras actividades cotidianas utilizamos constantemente productos químicos, cuya fabricación depende directa o indirectamente del cloro, por ejemplo, para lavarnos, vestirnos, alimentarnos, desplazarnos y proteger nuestra salud.

El cloro no se encuentra en la naturaleza en estado puro ya que reacciona con rapidez con muchos elementos y compuestos químicos, sino que se encuentra formando parte de cloruros y cloratos, sobre todo en forma de cloruro sódico, en las minas de sal y disuelto y en suspensión en el agua de mar.

Este halógeno forma numerosas sales y se obtiene a partir de cloruros a través de procesos de oxidación, generalmente mediante electrólisis, donde se obtienen juntamente con el cloro, sosa cáustica (NaOH) e hidrógeno.

Existen tres métodos de producción a partir de una disolución de sal en agua (salmuera) [46]:

- 1) **Instalaciones con celdas de mercurio.** Estas celdas se fundamentan en la propiedad del sodio de formar con el mercurio (cátodo) una amalgama líquida, que se descompone con el agua en NaOH (disolución al 50%), H<sub>2</sub> y Hg, el cloro se desprende en el ánodo. Desde el punto de vista ecológico, las electrólisis con cátodos de mercurio contribuyen a la contaminación atmosférica y acuífera. Actualmente la técnica moderna ha puesto a punto ánodos dimensionalmente estables construidos de titanio, recubiertos de metales nobles, que proporcionan una economía en el consumo energético y permiten obtener un cloro más puro, sin contaminación de CO<sub>2</sub> y otras materias orgánicas cloradas. Los efluentes (líquidos y gaseosos) son desmercurizados. Es muy importante mantener las emisiones de mercurio lo más bajas posibles, pues es un material tóxico a bajas concentraciones.
- 2) **Instalaciones con celdas de diafragma.** En este tipo de celdas, los compartimentos anódico y catódico están separados por una lámina porosa, denominada diafragma. El cloro se desprende en el ánodo, mientras que el hidrógeno y la solución alcalina de NaOH (10 al 12 %) se generan en el cátodo. Aunque dichas celdas consumen menos energía que las de mercurio, para obtener una solución de hidróxido sódico comercial (al 50 %) es necesario evaporar el agua y precipitar la sal residual, proceso muy costoso. Además, tienen el inconveniente ecológico de utilizar amianto para la construcción de los diafragmas y de que la sosa cáustica obtenida no alcanza el grado de pureza necesaria para determinadas aplicaciones.
- 3) **Instalaciones con celda de membrana.** La membrana está fabricada a base de polímeros perfluorosulfónicos y es permeable sólo a los cationes (Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>), impidiendo el paso a los aniones (Cl<sup>-</sup>, OH<sup>-</sup>). Se pueden obtener disoluciones de hidróxido sódico de concentración superior al 30 %. Dichas disoluciones son de elevada pureza y requieren un consumo de energía para evaporar el agua con el objeto de alcanzar la concentración de 50 % en NaOH (calidad comercial). Las celdas de membrana tienen la ventaja sobre las de mercurio y diafragma de que no utiliza ningún material contaminante para la separación de los productos electrolíticos, siendo su consumo energético similar al de las de diafragma. Sin embargo, el costo que implica el reemplazamiento de las celdas existentes de mercurio por las de membrana es muy elevado y no justificaría el cambio de tecnología.

#### 4.2.2 Usos

##### Automovilismo

- Espuma de asientos
- Pintura
- Barnices
- Parachoques de resina
- Molduras
- Instrumentos
- Alfombras
- Telas
- Cinturón de seguridad
- Trama de neumáticos
- Paneles
- Mangueras

#### Construcción

- Alfombras
- Acolchados
- Aislamiento de hilos
- Cañerías
- Zócalos
- Pisos
- Pinturas
- Barnices

#### Defensa

- Chalecos a prueba de balas
- Cascos
- Paracaídas
- Fibras impermeables
- Vidrio inastillable
- Piezas de aeronave en titanio
- Motores a chorro
- Misiles

#### Electrónica

- Semiconductores
- Discos para computadora
- Aislamiento de hilos

#### Manipulación y producción de comida

- Herbicidas
- Vitaminas B<sub>1</sub> y B<sub>6</sub>
- Detergentes
- Desinfectantes
- Aislamiento térmico
- Empaque estéril

#### Cuidados de la salud

- Instrumentos electrónicos
- Empaque estéril
- Equipos quirúrgicos
- Compuestos detergentes
- Objetos de uso ocular prescrito
- Reactivos de laboratorio (se usa en la síntesis de numerosos compuestos orgánicos e inorgánicos, por ejemplo tetracloruro de carbono, CCl<sub>4</sub>, o cloroformo, CHCl<sub>3</sub>, y distintos halogenuros metálicos).

#### Medicamentos

- Antibióticos
- Tratamiento del cáncer
- Moderadores de dolor
- Anestésias locales
- Antihistamínicos

- Descongestionantes

Producción de metales

- Magnesio
- Níquel
- Bismuto
- Titanio
- Circonio
- Zinc

Recreación al aire libre

- Ropas impermeables de neopreno
- Balsas inflables
- Empuñadura de palos de golf
- Planchas de surf
- Cuerdas de nylon
- Tiendas de campaña
- Sacos de dormir
- Gabanes
- Mochilas

Se emplea principalmente en el tratamiento del agua

- Agua potable segura
- Tratamiento de aguas residuales

Producción de plástico

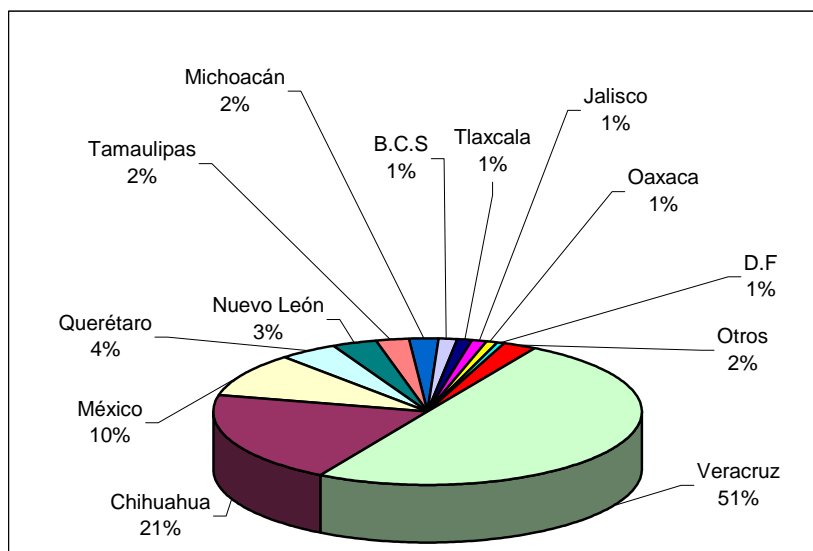
- Una gran parte del cloro se emplea en la producción de cloruro de vinilo, compuesto orgánico que se emplea principalmente en la síntesis del policloruro de vinilo, conocido como PVC [18].

#### 4.2.1 Almacenamiento de Cloro en México

En función de las cantidades de cloro a almacenar, se emplean las siguientes formas de almacenamiento [5]:

CANTIDAD	TIPO DE ALMACENAMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 50 – 1,250 kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes móviles (botellas y botellones)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• De 1,250 a 60,000 kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes fijos, semimóviles o móviles.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidades superiores a 60,000 kg.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipientes fijos.</li> </ul>

En la figura 4.2 se muestran los estados que tienen mayor cantidad almacenada de cloro con sus porcentajes respecto al volumen total almacenado en el país [17].



**Figura 4.2 Estados de la república mexicana en las que se almacena cloro en grandes cantidades (CENAPRED, 2003).**

En la tabla 4.2 se presenta la cantidad de cloro en toneladas almacenadas por estado de la república [17].

**Tabla 4.2 Estados de la república en los que se almacena cloro (CENAPRED, 2003)**

Estado	Toneladas
Veracruz	6,906.3
Chihuahua	2,785
México	1,339
Querétaro	617
Nuevo León	457
Tamaulipas	344
Michoacán	321
B.C.S	196
Tlaxcala	170
Jalisco	145
Oaxaca	102
D.F	95
Otros	332

Los principales productores de cloro en México son: Industria Química del Istmo S.A. de C.V., Cloro de Tehuantepec S.A. de C.V. y Pennwalt, S.A. de C.V.

#### 4.2.4 Medidas de Seguridad

- a) Evite las emisiones de cloro en todo momento. en caso que se requiera desgasar un recipiente, se recomienda instalar un sistema de absorción.
- b) Use el equipo de protección personal recomendado y tenga disponible regadera y lavaojos de emergencia en el área de almacenamiento.
- c) El área de almacenamiento debe estar bajo techo, bien ventilada (ventilas al nivel de piso), libre de humedad y alejada de fuentes de calor.
- d) Coloque la señalización de riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable tales como: etiquetas, rombos o señalamientos de advertencia.
- e) No estibar los contenedores (encimarlos), asegurar los cilindros en canastillas o jaulas, colocar los capuchones protectores de las válvulas, etc.
- f) Inspeccione periódicamente los recipientes para detectar daños y prevenir fugas usando una antorcha impregnada con solución de amoníaco formándose en el ambiente una niebla blanca de cloruro de amonio.
- g) Las tuberías y los equipos para el manejo de cloro deben limpiarse de materia orgánica, polvo, humedad, grasas minerales, etc., antes de usarse.
- h) Las tuberías de cloro líquido deben de disponer de cámaras de expansión debido a su alto coeficiente de expansión.
- i) Evite almacenar otros productos químicos incompatibles junto al cloro ya que pudieran reaccionar violentamente [47, 48].

#### 4.2.5 Atención de Emergencias

##### **Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio:**

- Aísle de 100 a 200 metros para recipientes de 68 kg de cloro y de 800 metros en todas direcciones si un carro tanque o plataforma con contenedores se ve involucrada en un incendio.
- Aléjese si las válvulas de seguridad abren o si se presentan ruidos, deformaciones o decoloración en los recipientes.
- Evalúe los riesgos y haga su plan de ataque.
- Muchos metales arden en presencia de cloro (ejemplo el acero a 252°C (485°F)).
- Retire los recipientes del fuego si es posible o enfríelos con agua siempre y cuando no exista fuga de cloro. Ya que el cloro con el agua forma ácido clorhídrico y acelera la corrosión.
- Use solo niebla de agua para evitar la dispersión rápida del cloro en el aire, para dirigir el gas que escapa lejos de los trabajadores, si es necesario cerrar el flujo de gas.
- El gas cloro es más pesado y se recolectará en las áreas bajas.

##### **Productos de la combustión tóxicos o nocivos para la salud:**

Ninguno, el cloro no se descompone; puede reaccionar con los gases de combustión de las sustancias químicas involucradas en un incendio, el cloro es un oxidante muy fuerte.

##### **Equipo de protección personal:**

- Equipos de respiración autónomos (SCBA)
- Traje encapsulado de nylon recubierto con butilo, tyvek (olefina termosoldada hecha a partir de fibras de polietileno de alta densidad) o materiales con resistencia química al cloro.



**Condiciones que conducen a otro riesgo especial:**

Nunca usar agua cuando el recipiente ya sea cilíndrico, contenedor o carrostanque esté fugando cloro. En este caso utilice el equipo de control de fugas específico para cada recipiente de acuerdo a su entrenamiento recibido. Puede usar agua solo para control del fuego alrededor de recipientes con cloro.

**Medidas en caso de fugas o derrames:**

- Identifique de inmediato qué recipiente está fugando cloro y por dónde. Evalúe la magnitud del problema.
- Para derrames de cloro líquido o gas utilice un traje protector de una pieza (de preferencia encapsulado) fabricado en nylon recubierto con butilo o tyvek así como un equipo de respiración autónomo de aire con presión a demanda (SCBA).
- Evacué las personas cercanas y ponga la señalización de emergencia. Si hay la intervención de bomberos, protección civil, policía de tránsito o caminos u otro organismo gubernamental, explíqueles los riesgos del cloro para que tomen las medidas de protección pertinentes.
- Trate de controlar el derrame proveniente del contenedor: cierre válvulas, tapone orificios, reacomode el contenedor, trasvase el recipiente, etc. procure que la fuga de cloro sea en forma de gas, para lo cual gire el cilindro o contenedor. Coloque el equipo de emergencias para control de fugas de acuerdo al tipo de recipiente de que se trate: cilindros, contenedores o carrostanques, estos equipos son los conocidos como kit a, b o c respectivamente.
- Al reparar una fuga, la persona debe colocarse en un nivel más alto que el del accidente y siempre de espaldas a la corriente de aire.
- Cuando no sea posible detener la fuga en un cilindro, colóquelo en un área abierta y bajo sombra.
- Si la fuga se presenta en unidades de transporte permanezca en movimiento de ser posible hasta llegar a un lugar seguro, alejado de zonas habitacionales, escuelas, hospitales, comercios, etc. trate de corregir la fuga pero si ésta persiste, el cloro se dispersará en la atmósfera sin causar mayores daños.
- Use niebla de agua sobre los vapores de cloro para minimizar su rápida dispersión en la atmósfera, no la aplique directamente sobre el cloro líquido o el punto de fuga en el recipiente debido a que la emisión se hará más grande y forma ácido clorhídrico [49].

**4.3 GAS LICUADO DE PETRÓLEO****4.3.1 Generalidades**

El gas licuado de petróleo (GLP) es la mezcla de gases condensables disueltos en el petróleo. El GLP, aunque a temperatura y presión ambiente es un gas, es muy fácil de condensar, de ahí su nombre. El gas licuado de petróleo en México es un combustible integrado por una mezcla esencialmente de propano y butano, cuya composición típica es de alrededor de 61% y 39%, respectivamente; aunque estos porcentajes varían. La producción de este combustible es en refinerías y plantas de proceso de gas natural, las cuales aportan alrededor del 25% y 75% respectivamente.

Cabe señalar, que dependiendo del país, se puede aplicar el mismo término a productos diferentes, por ejemplo en Estados Unidos y Canadá, se conoce por gas LP al combustible

constituido por propano en prácticamente un 100%, con algunas trazas de otros compuestos, los cuales se consideran de alto valor, por lo que se separan de la corriente de líquidos y se emplean como materia prima para sintetizar componentes de alto octano que se usan en la formulación de gasolinas.

El gas licuado juega un papel de primordial importancia en los hogares mexicanos, por ser el combustible de mayor uso en el mercado. Asimismo, el nivel de consumo sitúa al mercado del gas LP de México como uno de los más grandes del mundo.

El Gas LP se encuentra en estado gaseoso a condiciones normales; sin embargo, para facilitar su almacenamiento y transporte se licua y se maneja bajo presión para mantenerlo en este estado.

Para la obtención de gas L.P se envía gas natural a una planta de proceso el cual está constituido por metano, etano, propano, butano e hidrocarburos más pesados, así como por impurezas tales como el azufre.

En una primera etapa la corriente de gas natural pasa a una planta endulzadora, donde se elimina el azufre. Enseguida, se alimenta a una planta criogénica, en la cual mediante enfriamiento y expansiones sucesivas se obtienen dos corrientes, una gaseosa básicamente formada por metano (gas residual) y la otra líquida (licuables).

En un proceso posterior de fraccionamiento, la fase líquida se separa en diversos componentes: etano, gas LP y gasolinas naturales [50].

#### 4.3.2 Usos

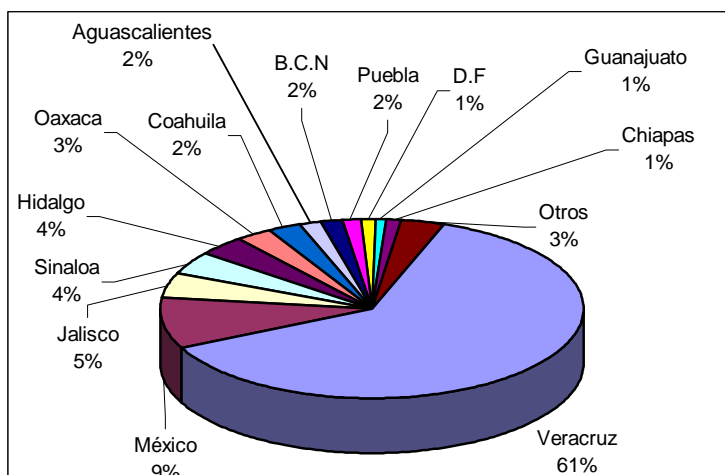
- Domésticos: En el hogar el gas LP es utilizado para cocinar, calentar el agua, calefacción, refrigeración, secadores, incineración y alumbrado.
- Comercial: Son los mismos usos que los domésticos, pero en mayor escala como en hoteles, restaurantes, hospitales, etc.
- Industrial: Prácticamente en cualquier equipo que requiera un combustible limpio y controlable fácilmente: hornos para tratamiento de metales, vidrio, cerámica, etc.; planchado de ropa; purificación de grasas; endurecimiento de metales; tratamientos térmicos; pasteurización; corte de metales; etc.
- Agrícola: Para secar alfalfa, heno y semillas; destrucción de malas hierbas por medio del fuego; para curar el tabaco; para motores de combustión interna, como el tractor, la bomba de agua, etc.
- Automotriz: Como combustible para motores de combustión interna, en automóviles, camiones, autobuses, etc. Como tal es excelente, superior en muchos aspectos a los otros combustibles.
- Otros: Como materia prima para fabricar plásticos, hule sintético, productos químicos, etc. [51].

La producción total de Gas L.P. pasó de 226 Mbd en 1998 a 247 Mbd en 2003, debido al incremento de la capacidad de recuperación de líquidos criogénicos; la producción futura presenta cambios importantes debido a la inclusión de dos plantas Burgos y Arenque.

Como consecuencia del mejoramiento en la estrategia de comercialización, las ventas de Gas licuado crecieron 22.4 por ciento durante 1995-1999. En 2003, las ventas de Gas L.P. en el país fueron de 367 Mbd, volumen superior en 17.3 por ciento al del año anterior [46].

### 4.3.3 Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo en México

En la Figura 4.3 se muestran los estados que tienen mayor cantidad almacenada de Gas L.P con sus porcentajes respecto al volumen total almacenado en el país [17].



**Figura 4.3 Estados de la República Mexicana en los que se almacena Gas L.P en grandes cantidades (CENAPRED, 2003)**

En la tabla 4.3 se presenta la cantidad de Gas L.P almacenada en toneladas por estado [17].

**Tabla 4.3 Estados de la República en los que se almacena Gas Licuado de Petróleo (CENAPRED, 2003)**

Estado	Toneladas
Veracruz	959,638
México	138,085
Jalisco	70,906
Sinaloa	61,928
Hidalgo	56,574
Oaxaca	44,305
Coahuila	36,876
Aguascalientes	25,090
Baja California	24,017
Puebla	23,683
DF	15,955
Guanajuato	14,675
Chiapas	14,428
Otros	53,041

El principal productor de gas licuado de petróleo en México es Petróleos Mexicanos (PEMEX).

#### 4.3.4 Medidas de Seguridad

- Mantener equipos, válvulas de seguridad e instrumentos en perfecto estado de funcionamiento, mediante un adecuado sistema de mantenimiento preventivo.
- Debe mantenerse la temperatura del tanque estacionario por debajo de los 38°C protegiéndolo por medio de barreras de niebla, que disminuyan la temperatura de extintores.
- Las instalaciones eléctricas deben ser a prueba de explosión y los tanques deben de tener conexión a tierra.
- Nunca someter los recipientes que lo contienen a calores extremos (soldar, cortar, flama abierta, etc.).
- No fumar, ni encender fuego.
- No permitir el acceso a personas ajenas a las instalaciones.
- Revisar periódicamente las condiciones del tanque.
- Capacitar al personal para el manejo del equipo.
- Un tanque de GLP nunca debe ser sobrellenado por arriba del 90% de su capacidad.
- Si se deja escapar el GLP en un espacio abierto tenderá a descender a las partes más bajas, pero si existe una corriente de aire lo disipará rápidamente.
- No compruebe con una llama encendida las posibles fugas de GLP.
- No fumar o prender algún tipo de flama cuando esté trabajando cerca de cualquier compuesto que tenga relación con algún combustible. La mezcla aire combustible es inflamable y puede, en cualquier momento presentarse una ignición.
- No deje que el GLP tenga contacto con la piel porque produce congelamiento. El GLP es almacenado en el tanque en estado líquido bajo presión.
- No permita que el GLP se acumule en áreas por debajo del suelo, como sería el caso de una fosa para cambio de aceite o alineamiento de llantas, el GLP desplaza al oxígeno y en su lugar queda una mezcla aire combustible que podría ser muy peligrosa.
- Antes de realizar algún mantenimiento al tanque o alguna reparación que requiera remover una válvula o marcador de combustible o flotador del tanque, deberá ser evacuado el GLP en su totalidad del interior del mismo.
- En caso de fugas por rupturas en tanques, siempre se procederá a girar éstos hasta colocar la fuga en la zona de vapor, recuerde que el GLP se almacena como líquido vapor en equilibrio. Para taponar la fuga se coloca una jerga o trapo mojado en el orificio [52].

#### 4.3.5. Atención de Emergencias

##### Medidas contra incendios:

- Hacer sonar la alarma.
- Cerrar todas las válvulas que pueda.
- Llamar al cuerpo de bomberos.
- Alejar rápidamente del lugar del incendio vehículos y recipientes que contengan GLP.
- Todo el personal que no sepa y no esté entrenado para atacar el fuego, deberá permanecer fuera de la zona de peligro.
- Si el fuego no ataca a recipientes, transportes o carros y no se puede contener el escape de gas cerrando válvulas, nunca debe extinguirse el fuego hasta que no sea controlada la fuga de gas, ya que puede ocasionar una problemática mayor.
- Interrumpir corriente eléctrica, excepto las necesarias para accionar la bomba de agua contra incendio.

- Rociar primeramente con agua contra incendio, tipo llovizna a los recipientes para enfriarlos y luego con chorro directo, esta operación se llevará a cabo por los costados del tanque, nunca por los extremos del mismo. (Como precaución debe de acercarse a los recipientes por los lados, nunca por las cabezas).
- Cuando el escape de gas esté prendido se deberán aplicar grandes cantidades de agua a las superficies expuestas.
- Ataque el fuego dirigiendo el agente extinguidor directamente a la base del fuego y siempre a favor del viento.
- Acerque y utilice todos los extintores disponibles en la planta incluyendo los de los vehículos.
- En incendio de pequeñas cantidades de GLP, los extintores de polvo químico seco son muy efectivos, se deben dirigir a la base del fuego o en su defecto al punto donde los vapores del GLP descarguen.
- Solo una persona dirigirá y otra persona realizará las maniobras.
- Si no llegan los bomberos y no se puede controlar el fuego y corre riesgo de explosión, aléjese del lugar dando la voz de alarma.

**Productos de la combustión:**

Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), agua (H<sub>2</sub>O) y nitrógeno (N<sub>2</sub>).

**Medios de extinción adecuados:**

Polvo químico seco y agua.

**Equipo de protección personal:**

- Trajes de asbesto o amianto para combate de incendios completos (casco con protector facial, pantalón y chaquetón, guantes, botas y cubrebotas).
- Pares de guantes de neopreno.
- Lentes de seguridad.
- Cascos de aluminio.

Sistema de seguridad requerido para situaciones extraordinarias, como el necesario para la operación normal de la planta (guantes de carnaza, ropa de algodón, zapatos de seguridad, extintores, sistema contra incendio, sistema de aspersion, alarmas sectoriales, etc.) deberá tenerse siempre en condiciones de operación y dentro de las fechas de caducidad recomendadas por los fabricantes de los mismos.

**Medidas en caso de fuga o derrame:**

- Eliminar todas las fuentes de ignición: cerillos, cigarrillos, llamas en el área de peligro, no tocar ni caminar sobre el material derramado.
- Detener la fuga si puede hacerlo sin riesgo.
- Usar agua en forma de rocío para reducir los vapores, aislar el área hasta que el gas se haya dispersado [52].

## CAPÍTULO 5

### MODELOS MATEMÁTICOS DE SIMULACIÓN

Para la determinación de las consecuencias provocadas por eventos con sustancias peligrosas, se emplean programas de simulación basados en los modelos descritos en el capítulo anterior. Los programas más usuales de acceso gratuito desarrollados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA por sus siglas en inglés, Environmental Protection Agency) son ALOHA y ARCHIE, y el programa SCRI desarrollado por la empresa mexicana Sistemas Heurísticos serán descritos a continuación.

#### 5.1 ALOHA (AREAL LOCATION OF HAZARDOUS ATMOSPHERES )

ALOHA (Localización de Áreas con Atmósferas Peligrosas) es un programa que se originó como una herramienta para ayudar en la respuesta a emergencias. Con los años ha evolucionado, se usa para responder a accidentes químicos, así como para la planeación y entrenamiento de emergencias y propósitos académicos.

ALOHA es un modelo que simula la dispersión de contaminantes en el aire, que se puede utilizar para predecir el movimiento y dispersión de gases. Predice concentraciones del contaminante viento abajo a partir de la fuente de un derrame o fuga, tomando en consideración las características físicas tanto del material derramado como del sitio donde se llevó a cabo la liberación.

El programa corre rápidamente en computadoras pequeñas (Windows o Macintosh). Está diseñado para reducir al mínimo el error del operador ya que comprueba la información que se incorpora y advierte cuando el usuario incurre en una equivocación, es fácil de utilizar de manera que se pueda operar con éxito durante situaciones de alta presión. Este programa puede predecir la distancia a la que se alcanzaría la concentración de interés que pone en riesgo la salud de la población, debido a la formación de una nube de gas peligroso en la atmósfera, después de la liberación accidental de la sustancia a partir de tuberías, pipas y tanques de almacenamiento.

Cuenta con una biblioteca química que contiene información sobre las propiedades físicas de aproximadamente 1,000 sustancias químicas peligrosas comunes. El programa permite que se incorpore información de nuevas sustancias químicas y sus propiedades, así como las circunstancias de un derrame accidental.

ALOHA solamente modela la dispersión en el aire de sustancias químicas volátiles. Incorpora dos modelos, el modelo gaussiano para calcular dispersión de gases neutros y positivamente flotantes, es decir con densidad igual y menor a la del aire respectivamente y el modelo ALOHA-DEGADIS para modelar dispersión de gases pesados, es decir nubes de vapor más densos que el aire.

ALOHA despliega una gráfica (en Windows) donde muestra el área donde las concentraciones de la sustancia en el aire pueden ser tales, que representan un peligro para la población. Puede mostrar la gráfica en un mapa electrónico (MARPLOT en un Macintosh o en MS-

DOS) de la ciudad donde se llevó a cabo el accidente. Se pueden ver también gráficos, que muestran concentraciones de las sustancias químicas predichas en el interior y en el exterior de cualquier localización de interés especial, viento abajo de una liberación y la dosis del producto químico a la cual la gente en esa localización puede estar expuesta.

Hay que tener presente que el programa ALOHA es solamente una herramienta. Su utilidad depende de la interpretación exacta de los datos.

### **Método de cálculo**

ALOHA predice la velocidad y la duración de una liberación a partir de la información almacenada en la biblioteca sobre sustancias químicas y de valores dados por los usuarios. Esta información puede incluir dimensiones del tanque, de la tubería o el tamaño del charco, cantidad de sustancia, presión del tanque o tubería, condiciones atmosféricas y temperatura.

ALOHA calcula en series de 100 intervalos de tiempo. Calcula la rapidez de liberación instantánea para cada intervalo de tiempo, el cual dura lo suficiente para que se libere a la atmósfera el uno por ciento de la masa de contaminante. Al final promedia estos 100 intervalos en cinco o menos intervalos de tiempo de al menos un minuto, las cuales entonces se envían a uno de los dos módulos de dispersión de ALOHA. Debido a que las condiciones meteorológicas cambian substancialmente aproximadamente en una hora, ALOHA espera que la duración total de la liberación nunca exceda de una hora. Si una liberación continúa por más de una hora, sugiere volver a efectuar el cálculo, usando la información meteorológica ajustada.

Este programa calcula internamente la cantidad de sustancia liberada, la velocidad de emisión y el tiempo que dura ésta. Toma en cuenta la presencia de obstáculos en los alrededores del lugar donde ocurre la fuga de la sustancia peligrosa, calculando radios menores con respecto a los obtenidos en caso de que el terreno esté libre de obstáculos y la sustancia pueda dispersarse libremente. Los programas ARCHIE y SCRI no permiten esta última diferenciación.

ALOHA no simula fuga de líquidos en tubería, en caso de fugas en tubería, la longitud de ésta debe ser al menos 200 veces el diámetro de la tubería, si no se considera que la fuga ocurra en el tanque y deben conservarse las condiciones de presión y temperatura de la sustancia contenida en éste [19].

### **Limitaciones del modelo**

- Modela solamente dispersión de gases neutros y pesados, pero no modela incendio y explosión.
- Como cualquier modelo, ALOHA no puede ser más exacto que la información que se introduce. Pero incluso cuando se proporciona la mejor información posible, ALOHA puede no ser fiable en ciertas situaciones, y no puede modelar algunos tipos de liberaciones.
- Incluso cuando se proporciona la información exacta en los datos de entrada, los resultados del modelo pueden no ser confiables cuando existen las siguientes condiciones:
  1. **Velocidades de viento muy bajas.**- ALOHA representa exactamente la localización de una nube del agente contaminante, solamente si la dirección del viento no cambia con respecto al valor que se introdujo. Generalmente, la dirección del viento es menos fiable cuando la velocidad es baja. La nube puede cambiar de posición si el viento cambiara de dirección.

2. **Condiciones atmosféricas muy estables.-** Bajo condiciones atmosféricas muy estables (en la noche o muy temprano), cuando generalmente la velocidad del viento es muy baja y es casi nulo que se mezcle el agente contaminante con el aire circundante, las concentraciones del gas dentro de la nube pueden seguir siendo altas aún lejos de la fuente.
3. **Cambios de velocidad y dirección de viento.-** ALOHA permite que se introduzcan los valores para la velocidad y dirección del viento, los cuales asume el modelo que son constantes (en cualquier altura dada) en todas partes del área viento abajo de una liberación de una sustancia química. También cuenta con que el suelo debajo de la nube de dispersión sea plana y libre de obstáculos.
4. **Concentración particularmente cerca de la fuente del derrame.-** Nadie puede predecir concentraciones del gas en cualquier instante particular viento debajo de una liberación con certeza, debido en parte al azar. ALOHA predice que las concentraciones promedio más elevadas cerca del punto de liberación [20].

**ALOHA no explica los efectos de:**

- **Incendios o reacciones químicas.-** ALOHA no explica el comportamiento del humo de un incendio de los subproductos de la combustión, o de algunas clases de reacciones químicas. ALOHA asume que la nube del contaminante no reacciona con los gases de la atmósfera, por ejemplo con oxígeno y vapor de agua. Sin embargo, muchas sustancias reaccionan con aire seco o húmedo, agua, otras sustancias, o aún con ellas mismas. Debido a estas reacciones químicas, la sustancia que se dispersó a favor del viento puede ser diferente de la que originalmente se fugó del contenedor. En algunos casos, esta diferencia puede ser substancial para hacer las predicciones de la dispersión.
- **Mezclas químicas.-** ALOHA está diseñado para modelar la liberación y dispersión de sustancias químicas puras y de algunas soluciones químicas. Es difícil para algunos modelos predecir correctamente el comportamiento de la solución o una mezcla de sustancias, porque es difícil predecir exactamente propiedades tales como presión de vapor para soluciones o mezclas. Los cálculos de ALOHA son afectados grandemente por estas propiedades químicas. Cuando se usa un valor incorrecto de alguna propiedad fisicoquímica, la velocidad de liberación y dispersión estimada por el modelo puede no ser válido.
- **Particulares.-** ALOHA no explica los procesos que afectan la dispersión de algunos contaminantes en particular por ejemplo, partículas radioactivas.
- **Terreno.-** ALOHA espera que el suelo debajo de un tanque o de un charco sea plano, de modo que el líquido se separa hacia fuera uniformemente en todas las direcciones. No explica la acumulación en depresiones o el flujo del líquido a través de terreno con inclinación [20].

**5.2 ARCHIE (AUTOMATED RESOURCE FOR CHEMICAL HAZARD INCIDENT EVALUATION)**

ARCHIE (Recurso Automático para la evaluación de incidentes con peligro químico) permite estimar dispersiones de nubes de vapores tóxicos, así como los peligros por incendio y explosión



con materiales peligrosos. No modela dispersión de gases pesados, ni predice proyecciones de fragmentos de material debido a explosiones.

El sistema utiliza versiones simplificadas de métodos y procedimientos más sofisticados (y por lo tanto más difíciles de usar). Por ello, este sistema pretende proporcionar aproximaciones lo suficientemente certeras para elaborar una planeación general. Cabe mencionar que normalmente el sistema sobrestima los daños pero pueden suceder excepciones. El sistema fue diseñado para trabajar con sustancias relativamente puras, aunque puede trabajar con mezclas proporcionando los datos apropiados al programa.

Para la modelación de los peligros antes descritos, es necesario proporcionar al programa distintos datos correspondientes a las características del sitio y a la sustancia química involucrada, así como las condiciones atmosféricas de la región.

El modelo no cuenta con una biblioteca sobre propiedades de sustancias químicas; sin embargo, se puede almacenar información sobre el evento, propiedades de la sustancia química, dimensiones del tanque, cantidad almacenada y cualquier otra información que sea necesaria. Se pueden almacenar todos los datos alimentados y los calculados por el programa en los ficheros de archivo para una modelación a futuro. Tampoco incluye una biblioteca de localizaciones del sitio, aunque este dato no se toma en cuenta para hacer los cálculos.

El programa predice la velocidad y la duración de la liberación a partir de la información introducida por el usuario. Las estimaciones no dependen del tiempo, es decir el modelo predice que la velocidad de liberación no cambia sobre cierto tiempo. Calcula tanto el pico como la velocidad promedio de liberación, dependiendo del tipo de ésta para un escenario dado, entonces calcula el tiempo necesario para liberar toda la masa potencial del contaminante a la velocidad de liberación.

### **Casos de liberación de líquidos en tanques no –presurizados**

ARCHIE asume que el escape ocurre en el fondo del tanque en todos los casos. Calcula la velocidad promedio del derrame, después calcula el tiempo necesario para vaciar el tanque si el flujo continúa a esa velocidad. La fuerza de gravedad conduce el flujo desde el tanque, esperando formar un charco.

Cuando el usuario no incorpora un valor máximo de diámetro del charco, primero calcula un valor para la velocidad de evaporación por unidad de área, después calcula un área de equilibrio del charco, asumiendo que la propagación continuará hasta la evaporación total o hasta igualarse la velocidad de evaporación con la velocidad de la fuga del tanque.

### **Derrames independientes del Charco**

ARCHIE puede modelar la evaporación de charcos independientes de radios fijos. En este caso pide al usuario introducir un valor para el área del charco, y un valor para la profundidad, volumen o masa, o peso del líquido.

### **Derrame en dos fases**

ARCHIE calcula la velocidad de flujo de un líquido presurizado en un tanque como una función del área de ruptura, el coeficiente de descarga del orificio del tanque, la densidad del

líquido y la diferencia entre la presión atmosférica y la del tanque. El modelo ignora el efecto de la gravedad, el cual se espera que sea menos importante que el efecto de la presión del tanque.

El modelo asume en todos los casos que el orificio o ruptura está situado en el fondo del tanque y predice siempre que toda la sustancia química (incluyendo vapor) será liberado. Si una liberación es a través de un tubo corto de 4" de longitud en lugar de que sea a través de un simple orificio del tanque, el modelo considera el que se liberará una mezcla de gas y aerosol dentro de la tubería. Asumiendo que siempre la temperatura de almacenamiento es superior al punto de ebullición, una mezcla de gas y aerosol serán liberados desde el tanque, y el líquido no formará charcos sobre la tierra.

El modelo calcula una velocidad máxima instantánea de liberación, entonces calcula la duración esperada de la liberación si se asume que todo el material saldrá del tanque a una velocidad máxima. Por esta razón, no se toma en cuenta la evaporación en frío y generalmente sobre estima la velocidad de liberación y subestima la duración de la liberación.

### **Liberación de gas en una tubería**

ARCHIE modela solamente casos de liberación de gas de una tubería de longitud finita que no esta conectada a un depósito. El usuario puede especificar si un orificio ocurre en una línea o si la ruptura completa ocurre al final o en algún punto de la línea. ARCHIE incorpora un modelo que trata a la tubería llena de gas como un volumen de gas comprimido sin fluir. Esto no considera los efectos de fricción a lo largo de la tubería, y por lo tanto no diferencia la aspereza de las tuberías. El modelo produce una estimación del 75% de la velocidad máxima de liberación en casos de ruptura en la línea y calcula el tiempo necesario para vaciar la tubería con esta velocidad de liberación. El modelo subestima el tiempo y sobreestima la velocidad de liberación [20, 21].

## **5.3 SCRI (SIMULACIÓN DE CONTAMINACIÓN Y RIESGOS EN INDUSTRIAS)**

El programa SCRI estima escenarios de emisiones de contaminantes, fugas y derrames de productos tóxicos y/o inflamables y daños por nubes explosivas, con lo cual se pueden estimar escenarios de afectación de emisiones continuas o instantáneas bajo diversas condiciones meteorológicas, realizar estudios de riesgo e impacto ambiental, apoyar en el diseño de plantas e instalaciones industriales y apoyar en la capacitación y entrenamiento de personal, en el manejo de situaciones de emergencia.

El modelo SCRI ha sido utilizado extensamente en México para la realización de estudios de riesgo e impacto ambiental por varios años, la SEMARNAT lo menciona como uno de los modelos que actualmente se utiliza para la evaluación de riesgos.

El programa SCRI está integrado por cuatro modelos:

1. Dispersión de contaminantes en una emisión puntual continua de gas
2. Dispersión de un gas o vapor tóxico y/o inflamable proveniente de una fuga o derrame de un líquido que se evapora
3. Dispersión de un gas liberado en forma masiva instantánea
4. Evaluación de daños provocados por nubes explosivas

El programa realiza las siguientes suposiciones:

### ***Modelo 1 y 2***

- La pluma posee una distribución gaussiana de la concentración de contaminante en las direcciones vertical y lateral, con desviaciones estándar de  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ .
- La velocidad media del viento (U) se considera constante durante el tiempo de aplicación del modelo.
- La sustancia se emite desde la fuente con un gasto (Q) constante.
- No existe depósito del contaminante en el suelo, ni reacciona con el mismo.
- La difusión de contaminante en la dirección x es insignificante, lo cual es adecuado si la emisión es continua o si la duración de la emisión es igual o mayor al tiempo de desplazamiento de la pluma (x/U).
- La densidad del gas en la pluma tiene un valor cercano a la densidad del aire.
- El modelo es aplicable en zonas con topografía plana sin obstáculos físicos importantes.

### ***Modelo 3***

Las características de la ecuación gaussiana empleada en el modelo Puff condicionan su aplicación considerando las suposiciones y restricciones señaladas en el modelo puntual continuo, además de las siguientes:

- El gas es emitido masiva e instantáneamente.
- La dispersión horizontal es igual a la lateral ( $\sigma_x = \sigma_y$ )
- El viento no provoca una dilución de la nube en la dirección x

Este programa no considera condiciones de fuga, tales como altura a la que se encuentra el orificio en el tanque, diámetro del orificio, dimensiones del tanque, masa contenida de sustancia en el tanque y condiciones de almacenamiento de la sustancia. Solo considera el flujo másico, no se puede establecer la cantidad de material que se fuga, ni el tiempo que dura ésta y el programa no lo calcula.

### ***Modelo 4***

- La fuga de material (almacenado o en proceso) es instantánea, excluyéndose escapes paulatinos de gas a menos que se trate de fugas en tuberías de gran capacidad.
- El material fugado se vaporiza en forma instantánea formándose inmediatamente la nube; la vaporización y formación de la nube se efectúa de acuerdo con las propiedades termodinámicas del gas o líquido antes de producirse la fuga.
- Se asume una nube de forma cilíndrica cuya altura corresponde a su eje vertical. Se supone que la nube cilíndrica no es distorsionada por el viento ni por estructuras o edificios cercanos.
- La composición de la nube es uniforme y su concentración corresponde a la media aritmética de los límites superior e inferior de explosividad del material.
- El calor de combustión del material se transforma a un equivalente en peso de trinitrotolueno (TNT) (calor de combustión del TNT = 1830 Btu/lb).

- La temperatura del aire ambiente se considera constante e igual a 21.1°C (70°F).
- Se considera que una nube originada en el interior de un edificio, formará una nube de las mismas dimensiones que una originada en el exterior del mismo.

El modelo de evaluación de daños provocados por la explosión de una nube de gas o vapor inflamable, involucra el cálculo para determinar un potencial explosivo aproximado de sustancias empleadas en la industria. Dentro de las sustancias que se contemplan factibles de formar nubes explosivas se tienen:

- a) Gases contenidos a una presión de 500 psi o más.
- b) Gases mantenidos en estado líquido por efectos de alta presión o baja temperatura.
- c) Líquidos combustibles o inflamables mantenidos a una temperatura superior a la de su punto de ebullición y que se encuentran en estado líquido por efecto de presión (se incluyen las sustancias cuya viscosidad sea mayor a  $1 \times 10^6$  centipoises o que posean puntos de fusión mayores a 100°C).

Para determinar la magnitud de la fuga de material explosivo en una planta, se pueden considerar dos criterios o tipos de daños probables:

- a) El Daño Máximo Probable “DMP”
- b) El Daño Máximo Catastrófico “DMC”

La magnitud de la fuga bajo un escenario de DMP se estima considerando que:

- El tamaño de la fuga estará determinado por el contenido del mayor recipiente de proceso o conjunto de recipientes del proceso conectados entre sí, sin estar aislados uno del otro por válvulas automáticas o a control remoto. Si existen estas válvulas se considerará el contenido del mayor recipiente.
- No se considerará como limitante de la formación de una nube, la existencia de fuentes de ignición en las cercanías de una posible fuga.

Bajo un escenario de DMC, la magnitud de la fuga se estima considerando:

- El tamaño de la fuga estará determinado por el contenido del mayor recipiente de proceso o conjunto de recipientes de proceso conectados entre sí. No se tendrá en cuenta la existencia de válvulas automáticas.
- Se considerará la destrucción o daños graves de tanques de almacenamiento mayores, como formadores de nubes explosivas catastróficas.
- Se considerarán las fugas en tuberías de gran capacidad que sean alimentadas desde instalaciones remotas, exteriores o interiores, asumiendo que la tubería será dañada seriamente y que la duración de la fuga es de media hora.
- No se considerará como limitante de la formación de una nube, la existencia de fuentes cercanas de ignición.
- Se incluirán los gases y líquidos empleados como combustibles.

Una vez que se produce la explosión, se generan una serie de ondas expansivas circulares, de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube y las de menor presión se sitúan en circunferencias de diámetro mayores. El

objetivo es determinar la magnitud de los diámetros asociados a la sobrepresión de las ondas y los daños producidos en instalaciones [14].

## CAPÍTULO 6

### DISTANCIAS DE AFECTACIÓN DE SUSTANCIAS PELIGROSAS EN LA INDUSTRIA DE ALTO RIESGO EN MÉXICO

En este capítulo se presentan las distancias de afectación reportados por la industria de alto riesgo en México, esta información se obtuvo a partir de los estudios de riesgo ambiental y los programas de prevención de accidentes que realizan las industrias que llevan a cabo actividades altamente riesgosas, los cuales presentan para su revisión y aprobación ante la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Se revisaron 804 estudios de riesgo ambiental y programas de prevención de accidentes, de los cuales se obtuvieron los datos de giro de la industria, sustancias peligrosas que manejan, localidad donde se encuentra, cantidad almacenada, número de tanques y su capacidad, radio de afectación y modelo matemático que se utilizó para determinarlo. Se realizó un análisis de la información obtenida la cual se presenta en las tablas 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4, que se presentan a continuación.

En la tabla 6.1 se presentan las sustancias tóxicas y el número de industrias que manejan dichas sustancias para las cuales se reporta la distancia de afectación en los Estudios de Riesgo y los Programas de Prevención de Accidentes revisados. Las sustancias que se reportan más son amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo.

**Tabla 6.1 Sustancias tóxicas reportadas por las industrias de alto riesgo en México**

SUSTANCIA TOXICA	NO. DE VECES REPORTADA	SUSTANCIA TOXICA	NO. DE VECES REPORTADA
Acetato de Etilo	3	Estireno	2
Acetileno	3	Fenol	2
Acetona	5	Formaldehído	2
Ácido Acético	2	<b>Gas Licuado de Petróleo</b>	<b>45</b>
Ácido Clorhídrico	9	Gas Natural	7
Ácido Fluorhídrico	3	Hexano	3
Ácido Nítrico	14	Hidrógeno	8
Ácido Sulfúrico	11	Hidróxido de Amonio	2
Alcohol Etilico	5	Hidróxido de Sodio	8
Alcohol Metílico	8	Hipoclorito de Sodio	6
<b>Amoniaco</b>	<b>201</b>	Metano	4
Carbofuran	3	N-Propilamina	2
<b>Cloro</b>	<b>48</b>	Paraquat	2
Combustóleo	3	Paratión Metílico	4
Dicloruro de Paracuat	2	Percloroetileno	2
Disocianato de Tolueno	3	Peróxido de Hidrógeno	12
Diesel	5	Tolueno	6
Endosulfan	5	Xileno	2

En la tabla 6.2 se presentan las sustancias inflamables y el número de industrias que las manejan y reportan en los estudios de riesgo y los programas de prevención de accidentes. La sustancia que se reporta más es el gas licuado de petróleo.

**Tabla 6.2 Sustancias inflamables que reportan las industrias de alto riesgo en México**

SUSTANCIA INFLAMABLE	NO. DE VECES REPORTADA	SUSTANCIA INFLAMABLE	NO. DE VECES REPORTADA
Acetato de Vinilo	4	Gas Natural	7
Acetileno	2	Gasavión	2
Acetona	4	Gasolina	10
Alcohol Etilico	5	Heptano	2
Alcohol Metílico	5	Hexano	3
Combustóleo	6	Hidrógeno	2
Diesel	13	Tolueno	6
<b>Gas Licuado de Petróleo</b>	<b>50</b>	Xileno	4

En la tabla 6.3 se presentan las sustancias explosivas y el número de industrias que las reportan en dichos estudios de riesgo y programas de prevención de accidentes. La sustancia que se reporta más es el gas licuado de petróleo.

**Tabla 6.3 Sustancias explosivas que reportan las industrias de alto riesgo en México**

SUSTANCIA EXPLOSIVA	NO. DE VECES QUE APARECE	SUSTANCIA EXPLOSIVA	NO. DE VECES QUE APARECE
Acetileno	6	Gasolina	5
Acetona	2	Hexano	8
Alcohol Etilico	5	Hidrógeno	7
Alcohol Metílico	4	Isopropanol	2
Amoniaco	5	Metano	4
Formaldehído	2	Peróxido de Hidrógeno	3
<b>Gas Licuado de Petróleo</b>	<b>157</b>	Tolueno	3
Gas Natural	11	Xileno	3

En la tabla 6.4 se presentan las sustancias tóxicas y el intervalo de radio de afectación para el cual se considera el radio máximo y mínimo que reportan las industrias de alto riesgo en México.

**6.4 Radios de afectación reportados para sustancias tóxicas por industrias de alto riesgo en México**

SUSTANCIA TOXICA	RADIOS DE AFECTACION (m)	SUSTANCIA TOXICA	RADIOS DE AFECTACION (m)
Acetato de Etilo	15 - 782	Estireno	100 - 2140
Acetileno	34.8 - 182.23	Fenol	90 - 110.3
Acetona	7.3 - 182.88	Formaldehído	10 - 20.1
Ácido Acético	678 - 899	<b>Gas Licuado de Petróleo</b>	<b>2.23 - 759.3</b>
Ácido Clorhídrico	10 - 600	Gas Natural	34.8 - 254.2
Ácido Fluorhídrico	3.4 - 164	Hexano	17.1 - 220
Ácido Nítrico	19 - 2,500	Hidrógeno	3.51 - 210
Ácido Sulfúrico	14.3 - 340	Hidróxido de Amonio	103 - 1,300
Alcohol Etilico	46.3 - 511	Hidróxido de Sodio	14.3 - 1,415
Alcohol Metílico	3.96 - 441.6	Hipoclorito de Sodio	9 - 1,415
<b>Amoniaco</b>	<b>5 - 31,062</b>	Metano	1.5 - 665
Carbofuran	30 - 420	Propilamina	517.55 - 518
<b>Cloro</b>	<b>8.35 - 3,248</b>	Paraquat	8.9 - 600
Combustóleo	21 - 185	Paratión Metílico	11.2 - 149
Dicloruro de Paracuat	50 - 50	Percloroetileno	80 - 320.7
Disocianato de Tolueno	13,027 - 13,499	Peróxido de Hidrógeno	1 - 509
Diesel	2.13 - 23.4	Tolueno	12.3 - 527
Endosulfan	11.2 - 220	Xileno	17.28 - 278

En la tabla 6.5 se reportan las sustancias inflamables y el rango de los radios de afectación por incendio que reportan las industrias de alto riesgo, tomando en cuenta el radio máximo y mínimo reportado por las mismas.

**6.5 Radios de afectación reportados para sustancias inflamables por industrias de alto riesgo en México**

SUSTANCIA INFLAMABLE	RADIOS DE AFECTACION (m)	SUSTANCIA INFLAMABLE	RADIOS DE AFECTACION (m)
Acetato de Vinilo	16.8 - 301	Gas Natural	3.1 - 105
Acetileno	21.48 - 34.14	Gasavión	45 - 115
Acetona	8.13 - 56	Gasolina	14.3 - 293.5
Alcohol Etilico	4.75 - 77.11	Heptano	22.25 - 55
Alcohol Metílico	15 - 179.3	Hexano	12.58 - 620
Combustóleo	5 - 125	Hidrógeno	26.5 - 56.52
Diesel	4.9 - 283.25	Tolueno	10 - 27.74
<b>Gas Licuado de Petróleo</b>	<b>5.18 - 911.4</b>	Xileno	7.62 - 500



En la tabla 6.6 se reportan las sustancias inflamables/explosivas y el rango de los radios de afectación por explosión que reportan las industrias de alto riesgo, tomando en cuenta el radio máximo y mínimo reportado por las mismas.

**6.6 Radios de afectación reportados para sustancias inflamables/explosivas por industrias de alto riesgo en México**

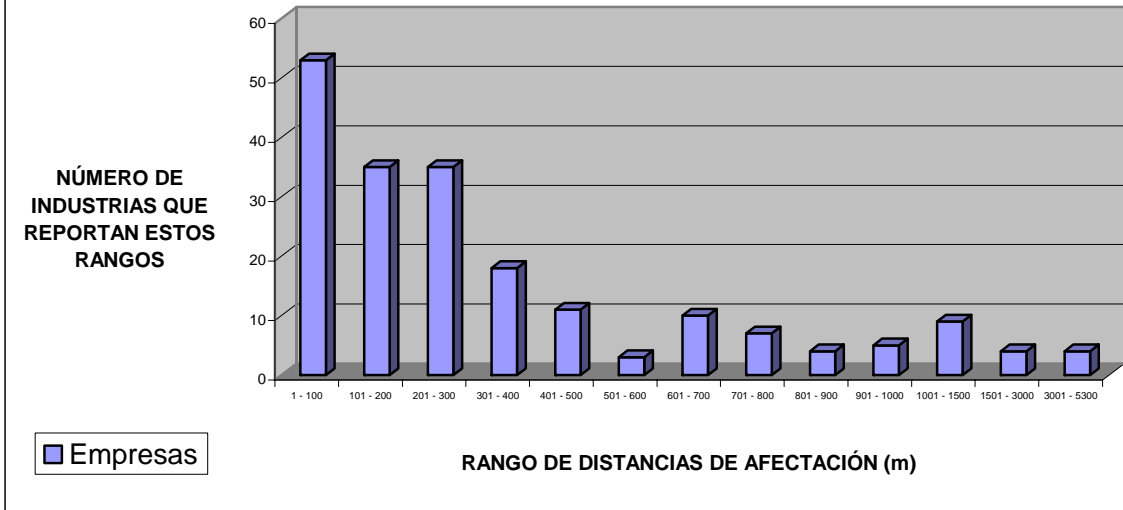
SUSTANCIA INFLAMABLE/EXPLOSIVA	RADIOS DE AFECTACION (m)	SUSTANCIA INFLAMABLE/EXPLOSIVA	RADIOS DE AFECTACION (m)
Acetileno	4.07 – 192	Gasolina	3.35 – 227.73
Acetona	6.7 – 26.24	Hexano	9.45 – 199
Alcohol Etilico	3.65 – 190.1	Hidrógeno	96 – 218.5
Alcohol Metílico	3.35 – 72.24	Isopropanaol	3.65 – 31.45
Amoniaco	12 – 716	Metano	44.8 – 558
Formaldehído	15.26 – 40	Peróxido de Hidrógeno	16.45 – 60.6
<b>Gas Licuado de Petróleo</b>	<b>6.5 – 1,372</b>	Tolueno	17.64 – 281
Gas Natural	33.5 – 251.97	Xileno	21.27 - 199

A partir del análisis de las tablas anteriores puede verse que existe una gran variabilidad en los radios de afectación reportados por las industrias de alto riesgo en el país, aún cuando muchas veces se trata del mismo giro industrial, iguales cantidades de almacenamiento e inclusive similitud de condiciones en que ocurre el accidente, en los tres tipos de eventos formación de nubes tóxicas, incendio y explosión.

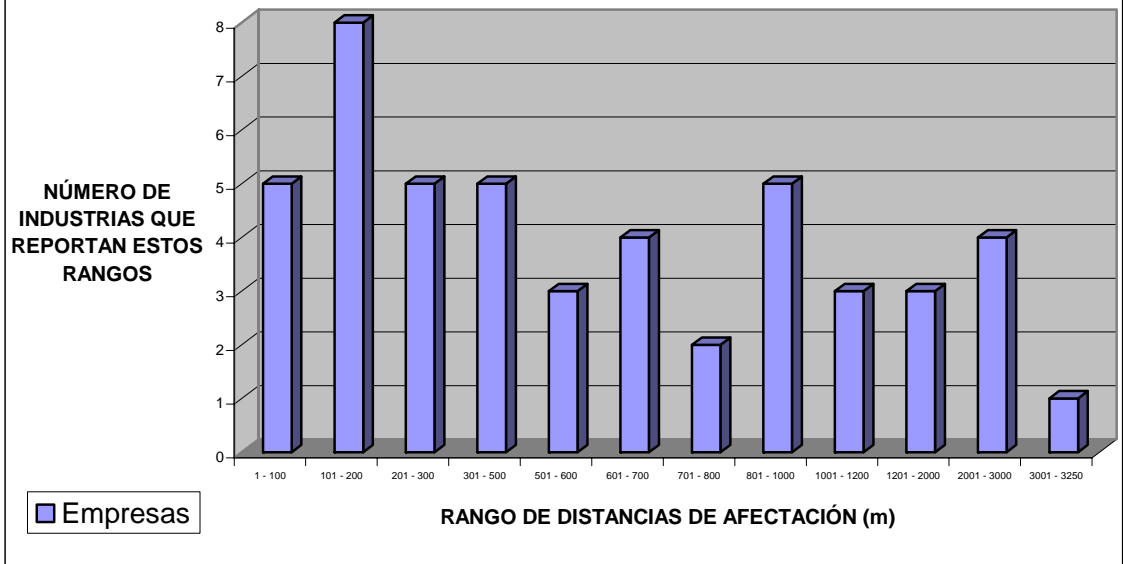
Esto puede deberse a que cada industria hace sus propias consideraciones para la determinación de la distancia de afectación debido al manejo de sustancias peligrosas; en lo cual interviene el criterio del consultor y del personal de la planta, así como datos que se alimentan al programa de simulación empleado para hacer el cálculo, que aun siendo el mismo programa y giro industrial los resultados reportados son diferentes.

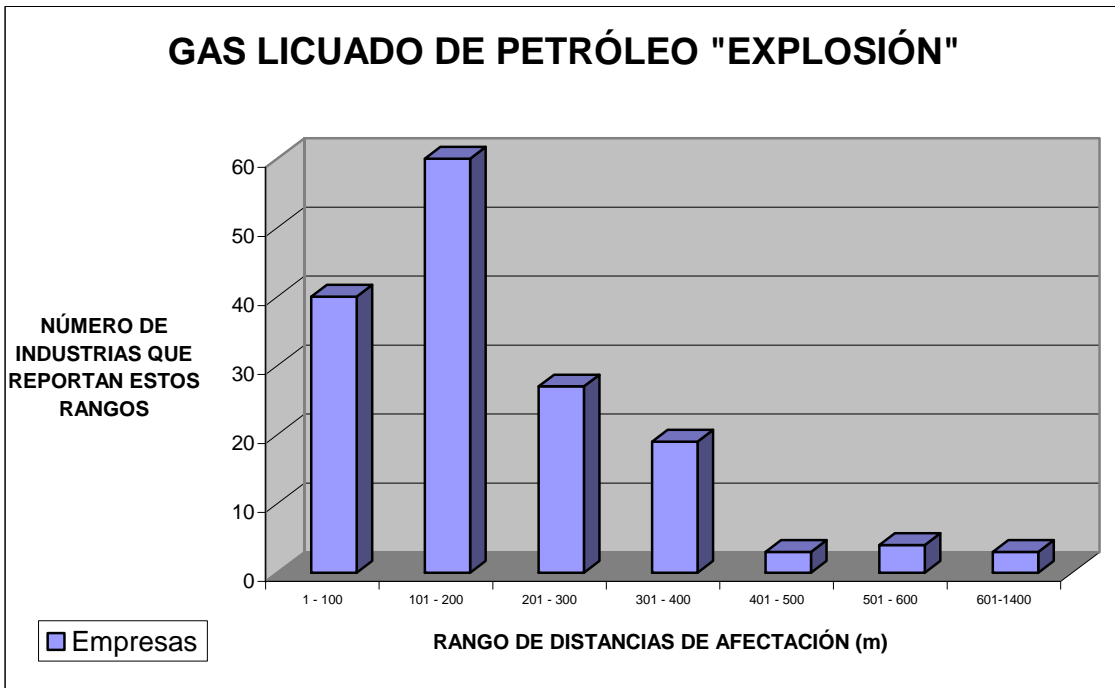
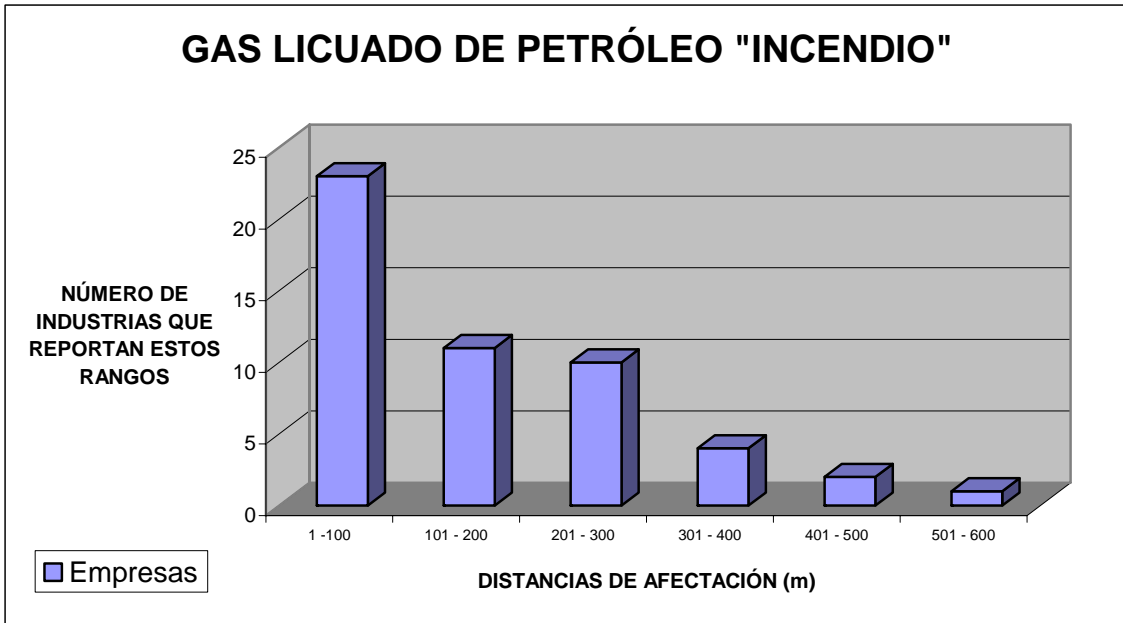
En las siguientes gráficas se muestran los intervalos de las distancias de afectación y el número de industrias que reportan estos valores, para nubes tóxicas de amoniaco y cloro, así como incendio y explosión de gas licuado de petróleo.

### AMONIACO "DISPERSIÓN DE NUBES TÓXICAS"



### CLORO "DISPERSIÓN DE NUBES TÓXICAS"





## CAPÍTULO 7

### DETERMINACIÓN DE DISTANCIAS DE AFECTACIÓN MEDIANTE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN PARA AMONIACO, CLORO Y GAS LICUADO DE PETRÓLEO

En este capítulo se presentan las consideraciones que se tomaron en cuenta para llevar a cabo las simulaciones con los programas de cómputo ALOHA, ARCHIE y SCRI para las tres sustancias peligrosas seleccionadas amoniaco, cloro y gas licuado de petróleo, en el caso de que ocurriera una liberación accidental de dichas sustancias. Se establecerán eventos catastrófico y alternativo para cada sustancia para las cuales se calcularon las distancias de afectación y amortiguamiento que se definen a continuación.

**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.

**Zona de amortiguamiento:** En esta zona se pueden permitir determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al medio ambiente, restringiendo el incremento de la población y capacitándola en los programas de emergencia.

De acuerdo con la guía para la elaboración de los Estudios de Riesgo en México (ver ANEXO 2), se deberán presentar los radios de afectación para el o los eventos máximo probable y para el evento catastrófico, sin embargo, no establece cuáles son las condiciones para tales eventos, como en la guía americana, de tal manera que se considerarán los requisitos establecidos en el Código de Regulaciones Federales 40 CFR 68.22 para llevar a cabo las simulaciones del evento probable y del catastrófico, los cuales se definen a continuación.

**1.-Evento catastrófico** se considera aquél en el cual se libera la mayor cantidad de inventario de un tanque simple o una tubería del cual resulte la distancia más grande del punto final de toxicidad o inflamabilidad. Para sustancias almacenadas como gases, gases licuados a presión y gases licuados por refrigeración sin contención, el inventario debe liberarse como un vapor durante 10 min.

Las condiciones de modelación deben ser:

- ❖ Condiciones meteorológicas: Estabilidad F, velocidad del viento de 1.5 m/s, % de humedad relativa promedio y máxima temperatura ambiente que haya ocurrido en los últimos 3 años.
- ❖ Altura de la liberación: Asume que la liberación es a nivel de piso (0 ft).
- ❖ Densidad de la nube de vapor: Se toma en cuenta la densidad de la nube de vapor (densa o neutra).
- ❖ Temperatura del material liberado: Debe ser la más alta temperatura del proceso o la más alta temperatura ambiente que se haya registrado en los últimos 3 años.
- ❖ Explosiones de nube de vapor: Si se usa la equivalencia al TNT se debe usar un factor del 10% junto con la masa inflamable [23].

**2.-Evento alternativo** se considera aquel evento que puede ser más probable de que ocurra a diferencia del caso catastrófico, para determinar cuál puede ser este evento se requiere información de accidentes ocurridos en 5 años en instalaciones de interés, así como los escenarios que puedan haber sido identificados en el proceso de análisis de peligros. La EPA indica que las instalaciones deben considerar también los siguientes tipos de eventos:

- Derrames o desacoplamiento súbito de la manguera.
- Proceso de liberación en tuberías a partir de fallas en el collarín, juntas, soldaduras, válvulas, sellos de válvulas y purgas.
- Proceso de liberación de tanques o bombas debido a grietas, falla de sellos, falla de purgas o taponés.
- Sobrellenado de tanques y derrame, o sobrepresurización y venteo a través de válvulas de relevo o ruptura de discos.
- Maltrato de contenedores embarcados y rompimiento o perforación que lleva a un derrame.
- Para eventos alternativos se considera un tiempo de aislamiento entre 40 y 45 minutos. Se debe ser realista al estimar el tiempo necesario para detectar, responder y aislar una liberación o activar un sistema de mitigación.

Las condiciones de modelación deben ser:

- Condiciones meteorológicas: Se usan los datos de condiciones atmosféricas meteorológicas típicas de la región en donde se presenta el evento.
- Altura de la liberación: La altura se puede seleccionar basándose en consideraciones específicas del escenario.
- Densidad de la nube de vapor: Se toma en cuenta la densidad de la nube de vapor (densa o neutra).
- Temperatura del material liberado: La temperatura se selecciona de las condiciones específicas [23].

Para simular los eventos alternativo y catastrófico, se toman los siguientes puntos finales para sustancias tóxicas/inflamables/explosivos para determinar los radios de afectación y amortiguamiento.

ZONAS	TOXICIDAD (CONCENTRACIÓN)	INFLAMABILIDAD (RADIACIÓN TÉRMICA)	EXPLOSIVIDAD (SOBREPRESIÓN)
Zona de Alto Riesgo	IDLH	5 KW/m <sup>2</sup> o 1,500 BTU/ft <sup>2</sup> hr	1.0 lb/plg <sup>2</sup> (psi)
Zona de Amortiguamiento	TLV <sub>8</sub> o TLV <sub>15</sub>	1.4 KW/m <sup>2</sup> o 440 BTU/ft <sup>2</sup> hr	0.5 lb/plg <sup>2</sup> (psi)

Nota:

- 1) En modelaciones por toxicidad, deben considerarse las condiciones meteorológicas más críticas del sitio con base en la información de los últimos 10 años, en caso de no contar con dicha información, deberá utilizarse Estabilidad Clase F y velocidad del viento de 1.5 m/s.
- 2) Para el caso de simulaciones por explosividad, deberá considerarse en la determinación de las Zonas de Alto Riesgo y amortiguamiento el 10% de la energía total liberada.

## 7.1 ESCENARIOS DE FUGA CONSIDERADOS

Se consideraron dos escenarios de fuga para cada una de las sustancias en estudio esto es cloro, amoniaco y gas licuado de petróleo, el primer escenario es un evento alternativo, el cual se buscó fuera representativo de una situación que podría presentarse en cualquier estado de la República Mexicana y en más de una instalación industrial. Y como segundo escenario se consideró un evento catastrófico.

### 7.1.1 Amoniaco

Para el caso del amoniaco se considero como evento alternativo, la fuga en el tanque receptor del sistema de refrigeración que puede estar en una planta productora de hielo, de bebidas carbonatadas no alcohólicas o bien de una planta productora o almacenadora de productos alimenticios perecederos que requieren refrigeración. Este escenario de fuga de amoniaco es representativo de una situación que puede ocurrir en cualquier planta con sistema de refrigeración ubicada en algún estado del país.

El evento catastrófico que se consideró fue la fuga del contenido total del amoniaco líquido del tanque receptor (602 kg), por presentar un orificio en el fondo del tanque, debido a un mantenimiento deficiente del tanque.

### 7.1.2 Cloro

El escenario alternativo que se considero para el caso del cloro fue una fuga durante el almacenamiento de cloro en tanques de 907 kg., los cuales se emplean principalmente en las plantas de tratamiento de aguas residuales y en las plantas potabilizadoras de agua, siendo una situación de fuga de esta sustancia que puede presentarse en cualquier parte del país, ya que en todos los estados de la República Mexicana existe más de una planta de este tipo.

El evento catastrófico que se consideró fue la fuga del contenido total del tanque de almacenamiento de cloro líquido (cilindro de 907 kg), debido a la caída del cilindro durante las maniobras de carga y descarga o por un impacto en el cuerpo del cilindro.

### 7.1.3 Gas Licuado de Petróleo

Se considero como evento alternativo para el gas licuado de petróleo, una fuga en una gasera donde se almacena y distribuye el gas para su venta, a partir de un tanque de almacenamiento considerando dos capacidades 125,000 y 250,000 litros, este tipo de plantas se encuentran en todos los estados de la República Mexicana donde puede presentarse un incendio o explosión como consecuencia de una fuga.

Para ambas capacidades del tanque de almacenamiento el escenario es una fuga en el cuerpo del tanque que propicia un incendio el cual puede ser tipo bola de fuego, flama jet e incendio de nube de vapor.

Para el evento catastrófico se consideró una fuga en el cuerpo del tanque que da como resultado una explosión de nube de vapor no confinada.

## 7.2 CONSIDERACIONES Y DATOS ALIMENTADOS A LOS PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

A continuación se describen las consideraciones que se hicieron para llevar a cabo las simulaciones y las variables que se alimentaron a los tres programas de simulación empleados en este trabajo ALOHA, ARCHIE y SCRI. Para calcular las distancias de afectación, debido a la formación de nubes tóxicas para el amoníaco y cloro, se usaron ALOHA, ARCHIE y SCRI, mientras que para calcular las distancias de peligro debido a un incendio se usó ARCHIE y para una explosión se usaron ARCHIE y SCRI en el caso de gas licuado de petróleo.

### 7.2.1 Formación de Nubes Tóxicas para Amoníaco y Cloro

#### 7.2.1.1 Programa de Simulación ALOHA

El programa de simulación ALOHA sirve para calcular la distancia de afectación debido a la formación de nubes tóxicas por la fuga o derrame de gases o líquidos tóxicos.

En el programa se deben establecer las condiciones de 4 aspectos:

- Ubicación geográfica
- Sustancia química
- Condiciones atmosféricas
- Fuente de donde proviene la fuga o derrame.

**Ubicación geográfica.-** En cuanto a la ubicación geográfica se estudió si había diferencias debido a la altitud a la que se encuentra la ciudad donde tiene lugar el evento, para ver el efecto de esta variable se consideraron 4 ciudades que fueran representativas de diversas latitudes a las que se encuentran las principales ciudades en la República Mexicana, las cuales se presentan en la siguiente tabla (Ver ANEXO 4).

Nombre de la localidad	Altitud (msnm)	Latitud (Coordenadas)	Longitud (Coordenadas)
Coatzacoalcos	20	17° 59' 20''	94° 33' 31''
Monterrey	530	25° 40' 16''	100° 18' 30''
Guadalajara	1550	20° 40' 35'	103° 20' 46''
Distrito Federal	2240	19° 22' 15''	99° 02' 27''

**Sustancia química.-** Al seleccionar la sustancia a simular el software automáticamente establece sus propiedades fisicoquímicas, así como el valor de concentración inmediatamente peligroso para la vida y la salud IPVS (en inglés IDLH) para el cual se considera, que en el punto donde se alcanza esta concentración es la distancia de peligro para la población.

**Condiciones atmosféricas.-** En las condiciones atmosféricas de debe proporcionar la velocidad y dirección del viento, la altura a la que se mide la velocidad y la dirección del viento, la rugosidad del terreno que puede ser rural o urbana, en el caso de rural se considera libre de obstáculos y en el caso de urbana o forestal están presentes obstáculos que dificultan la dispersión

del contaminante, nubosidad, temperatura ambiente, estabilidad atmosférica, si se presenta o no inversión y el por ciento de humedad relativa.

**Fuente de emisión.-** Se puede seleccionar en el programa que la emisión de la sustancia ocurre en tanque o en tubería, cuando la tubería es corta, esto es su longitud es menos de 200 veces su diámetro, el programa considera que la fuga ocurre en el tanque y se conservan las condiciones de presión y temperatura que hay en éste. Además no se puede simular fugas de líquidos en tuberías con este programa.

Para fuga en tanque se debe establecer el tipo de tanque (esfera, cilíndrico horizontal o vertical), su diámetro, longitud y masa contenida, seleccionar si el contenido del tanque es líquido o gas, temperatura dentro del tanque, forma y diámetro del orificio por donde fuga la sustancia, y altura en el tanque donde se localiza la fuga.

Si la fuga se considera en una tubería los valores que se deben proporcionar son diámetro y longitud de la tubería, rugosidad, presión y temperatura del líquido en la tubería y tamaño del orificio.

Internamente el programa con todas estas variables calcula el flujo de liberación máximo promedio en un minuto, la cantidad total liberada y la duración de la liberación.

### **7.2.1.2 Programa de Simulación ARCHIE**

El programa de simulación ARCHIE modela dispersión de nubes tóxicas, incendios y explosiones de sustancias inflamables y explosivas.

Para calcular la distancia de afectación debido a nubes tóxicas se seleccionó a partir del menú de opciones, el modo de evaluación de dispersión de un gas o vapor tóxico que corresponde a la opción (d).

Entre las variables que solicita el programa están el flujo de la emisión de vapor o gas y la duración de la emisión, las cuales se pueden calcular con el mismo programa seleccionando la opción de estimación de la velocidad de descarga de un líquido o gas ofrecida en el menú (opción a).

Debido a que este programa considera que se libera el contenido total del tanque, para poder tener condiciones similares entre los diferentes programas, se tomó el valor de cantidad liberada calculado por ALOHA como la masa contenida en el tanque, para hacer los cálculos de flujo y duración de la emisión.

Para el cálculo del flujo y duración de la emisión en un tanque presurizado, que es como se encuentra almacenado el cloro y amoníaco, las variables que se deben alimentar son: punto normal de ebullición de la sustancia, masa contenida en el tanque, diámetro y forma del orificio de descarga, coeficiente de descarga (este valor se obtiene del programa dependiendo de la forma del orificio en este caso si es circular, el valor es 0.62), altura del líquido en el tanque, temperatura ambiente, presión de vapor y temperatura en el tanque y gravedad específica del líquido.

Para el cálculo del radio de afectación los valores que se deben proporcionar son el peso molecular de la sustancia, altura de la descarga, estabilidad atmosférica, velocidad del viento, temperatura del material en el contenedor, temperatura ambiente, rapidez y duración de la emisión (calculadas con la opción (a) del menú) y concentración tóxica de la sustancia.



### **7.2.1.3 Programa de Simulación SCRI**

El programa de simulación SCRI sirve para modelar dispersión de nubes tóxicas y daños por explosión de sustancias peligrosas.

Para calcular las distancias de afectación por formación de nubes tóxicas el programa requiere los siguientes datos: fecha, nombre del contaminante, lugar donde se llevo a cabo la emisión, concentraciones de interés, gasto del evento, altura del evento, altura de la capa de inversión térmica, clase de estabilidad, velocidad del viento y ángulo de fluctuación. Los resultados que da son el radio de afectación y el radio de amortiguamiento.

Debido a que este programa no calcula el gasto de emisión del contaminante, se tomó el valor calculado por ALOHA.

## **7.2.2 Formación de Incendios y Explosiones para Gas Licuado de Petróleo**

### **7.2.2.1 Programa de Simulación ARCHIE**

Este programa se empleó para llevar a cabo las simulaciones de incendio y explosión para el Gas Licuado de Petróleo (Gas LP).

El programa ARCHIE ofrece en su menú las siguientes opciones:

- a. Estimación de la velocidad de descarga de un líquido o gas.
- b. Estimación del área de un charco de líquido derramado
- c. Estimación de la velocidad de vaporización de un líquido derramado
- d. Estimación de la dispersión de un gas o vapor tóxico
- e. Evaluación de la radiación por un incendio de charco
- f. Evaluación de la radiación de una bola de fuego (BLEVE)
- g. Evaluación del peligro de un incendio de flama jet (dardo de fuego)
- h. Evaluación del peligro de incendio de una nube de vapor
- i. Evaluación de la explosión de una nube de vapor
- j. Evaluación del peligro por ruptura de un tanque sobrepresurizado
- k. Evaluación del peligro de explosión de un sólido/líquido

Para los cálculos del área de afectación para gas L.P se eligieron las siguientes opciones del menú:

Opción (f). En el caso de la radiación térmica por bola de fuego (BLEVE) el programa solo pide el peso del contenido del tanque, dando como resultado el diámetro máximo y la altura máxima de la bola de fuego, el radio de la zona de fatalidad y de la zona de daño.

Opción (g). Para el incendio de flama jet (dardo de fuego) se debe alimentar el punto normal de ebullición, la temperatura del contenedor, la temperatura ambiente, la presión de vapor de la sustancia, la relación del calor específico  $C_p/C_v$  que se tomó del programa de acuerdo al tipo de sustancia si es monoatómica o poliatómica, el peso molecular, el límite inferior de inflamabilidad y el diámetro del orificio de fuga. Los resultados son la longitud del dardo de fuego y la distancia de seguridad.

Opción (h). En el caso de incendio por nube de vapor se requiere la estabilidad atmosférica, la velocidad del viento, la velocidad y la duración de la emisión, estos dos últimos datos se pueden calcular con el programa entrando a la opción (a) del menú (velocidad de descarga de un líquido o gas), peso molecular, temperatura normal de ebullición, límite inferior de inflamabilidad, temperatura en el tanque y temperatura ambiente. Los resultados se dan para una concentración igual a la mitad del límite inferior de inflamabilidad y para el total del límite inferior de inflamabilidad y son la distancia de peligro viento abajo, el ancho máximo de peligro viento abajo, el peso del gas arrastrado por el aire y la densidad relativa inicial vapor/aire.

Opción (i). Para la explosión de nube de vapor los datos requeridos son: calor de combustión inferior, factor de explosividad (el programa da este valor dependiendo de la sustancia que se quiera simular, en este caso el valor es de 0.03), peso del gas explosivo el cual se obtiene de la simulación de incendio de nube de vapor y establecer si el evento se presenta a nivel de piso o no. El resultado es el radio de afectación por sobrepresión a 0.5 y 1.0 psi.

### **7.2.2.2 Programa de Simulación SCRI**

Este programa tiene un modelo para la evaluación de daños por nubes explosivas.

Los datos que se requieren para simular la zona de daño por explosión de Gas L.P son el tipo de sustancia, que se puede escoger entre tres opciones: A) gas a 500 psi o más de presión, B) gas licuado por alta presión o baja temperatura y C) líquido inflamable o combustible; peso molecular, límite inferior y superior de explosividad, altura de la nube, densidad a la temperatura del proceso, temperatura de ebullición, temperatura de proceso, volumen de la sustancia involucrada y calor de combustión. Los resultados obtenidos son: peso del material fugado, peso del material vaporizado, por ciento del material en la nube, diámetro de la nube, energía desprendida para el daño máximo probable, energía desprendida para el daño máximo catastrófico, y radios de afectación por sobrepresión a 0.5 y 1.0 psi, para el daño máximo probable y máximo catastrófico.

## **7.3 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LIBERACIÓN DE AMONIACO**

### **7.3.1 Evento Catastrófico Tanque de 602 kg.**

Fuga del contenido total de amoniaco líquido del tanque receptor de un sistema de refrigeración (602 kg), por presentar un orificio en el fondo del tanque, debido a un mantenimiento deficiente o por impacto en el cuerpo del tanque.

Para llevar a cabo los cálculos para el evento catastrófico se tomarán las condiciones que se definieron al inicio del capítulo, recordando que debe fugarse el contenido total del tanque en 10 minutos. Las simulaciones se harán con los tres programas de simulación

### 7.3.1.1 Programa de Simulación ALOHA

#### Información atmosférica

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Velocidad del viento • Estabilidad "F"	1.5	m/s
Dirección del viento	Norte	***
Altura de inversión • No Inversión • Inversión presente	No	***
Humedad relativa • (0 – 100 %)	50	***
Nubosidad (0) Limpio - (10) Completamente nublado	5	***
Temperatura ambiente	36.0	°C
Rugosidad	- Rural y - Urbana	***
Altura de medición del viento	3	m

Nota: Estos datos son iguales para los escenarios catastróficos para amoníaco y cloro.

#### Información de la fuente

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Tipo de tanque	Cilíndrico horizontal	***
Diámetro del tanque	0.58	metros (m)
Longitud del tanque	4.42	metros (m)
Temperatura interna	24	°C
Masa en el tanque	602	kg
Diámetro del orificio	0.33	pulgadas (in)
Altura a la que se localiza el orificio	En el fondo del tanque (0)	metros (m)
Concentración de interés	IDLH = 300 TLV <sub>8</sub> = 25	ppm

Los resultados obtenidos con ALOHA para los dos tipos de rugosidades del terreno son:

#### Resultados para el Evento Catastrófico

Rugosidad del área	Rural	Urbana
Velocidad de emisión (kg/min)	65.1	65.1
Cantidad total liberada (kg)	602	602
Tiempo (min)	10	10
Radio de riesgo (m) 300 ppm	728	570
Radio de amortiguamiento (m) 25 ppm	3100	2800

**7.3.1.2 Programa de Simulación ARCHIE****Datos para el cálculo de la velocidad de la emisión**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Punto normal de ebullición	-28.12	°F
Diámetro del orificio de descarga	0.28	pulgadas (in)
Coefficiente de descarga	0.62	adimensional
Peso del contenido en el tanque	1327.17	libras
Altura del líquido en el tanque	1.54	pies (ft)
Temperatura del contenido	75.2	°F
Temperatura ambiente	96.8	°F
Presión de vapor en el tanque	194.7	psia
Gravedad específica del líquido	0.7	adimensional

**Resultados de la velocidad y duración de la descarga**

Velocidad de descarga	136 lbs/min	61.7 kg/min
Duración de la descarga	9.77 min.	9.77 min

**Datos para el cálculo del radio de afectación**

Localidad	Según el caso	***
Peso molecular	17.03	lb/lb.mol
Concentración de interés	IDLH = 300 TLV = 25	ppm
Altura de la descarga	0.0	pies (ft)
Estabilidad Atmosférica	F	***
Velocidad del viento	3.35	mph
Temperatura ambiente	96.8	°F
Velocidad de descarga	136	lb/min
Duración de la descarga	9.77	minutos

**Resultados para el Evento Catastrófico**

Radio de riesgo 300 ppm	5645 ft	1721 m
Radio de amortiguamiento 25 ppm	30952 ft	9434 m

### 7.3.1.3 Programa de Simulación SCRI

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Fecha	***	***
Nombre de la sustancia	Amoniaco	***
Lugar donde ocurre la emisión	Según sea el caso	***
Concentraciones de interés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 207.67</li> <li>• 17.31</li> </ul>	mg/m <sup>3</sup>
Gasto de emisión	1003.33	g/s
Altura del evento	0.0	metros (m)
Altura de la capa de inversión térmica	0.0	metros (m)
Clase de estabilidad	F	***
Velocidad del viento	1.5	m/s
Ángulo de fluctuación	15	grados (°)

#### Resultados para el Evento Catastrófico

Radio de riesgo (m)	300 ppm	1637 m
Radio de amortiguamiento (m)	25 ppm	9770 m

### 7.3.2 Evento Alternativo Tanque de 602 kg.

Para el evento alternativo se considera una fuga en el tanque receptor de amoniaco líquido, el cual forma parte del sistema de refrigeración. Se produce la fuga por falta de mantenimiento, falla en el material o agotamiento de su vida útil. El orificio por el que se fuga el amoniaco puede ser de diferentes diámetros y a diferentes alturas.

Para calcular los eventos alternativos se consideraron dos estabilidades atmosféricas (C y D) que son las más probables de presentarse en un evento real, para las cuales se reportan los resultados. Los datos que se consideraron para las condiciones atmosféricas son iguales para los eventos alternativos del amoniaco y del cloro.

### 7.3.2.1 Programa de Simulación ALOHA

Para las simulaciones con el programa ALOHA se consideraron dos alturas de orificio (0.25 y 0.12 metros es decir a la mitad y a la cuarta parte de la altura del tanque), cuatro diámetros de orificio (0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 pulgadas), dos estabilidades atmosféricas (C y D) y dos tipos de rugosidad del terreno (zona rural y urbana, esto significa sin y con obstáculos).

#### Información atmosférica

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Velocidad del viento (m/s)		
• Estabilidad "C"	2.8	m/s
• Estabilidad "D"	8.3	m/s
Dirección del viento	Norte	***
Altura de inversión		
• No Inversión	No	***
• Inversión presente		
Humedad relativa		
• (0 – 100 %)	50	***
Nubosidad		
(0) Limpio -	5	***
(10) Completamente nublado		
Temperatura ambiente	26.7	°C
Rugosidad	- Rural - Urbana	***
Altura de medición del viento	3	m

Nota: Estos datos son iguales para los escenarios alternativos para amoniaco y cloro.

#### Información de la fuente

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Tipo de tanque	Cilíndrico horizontal	***
Diámetro del tanque	0.58	metros (m)
Longitud del tanque	4.42	metros (m)
Temperatura interna	24	°C
Masa en el tanque	602	Kg
Diámetro del orificio	0.25, 0.5, 0.75, 1.0	pulgadas (in)
Altura a la que se localiza el orificio	• 0.25 • 0.12	metros (m)
Concentración de interés	IDLH = 300 TLV <sub>8</sub> = 25	ppm

**Resultados para la Estabilidad “C” Altura del orificio 0.25 (m)**

<b>Diámetro del orificio (in)</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>0.75</b>	<b>1.0</b>
Velocidad de descarga (kg/min)	37.4	149	325	348
Cantidad descargada (kg)	357	369	373	385
Tiempo (minutos)	60	25	9	6
Radio de riesgo Zona Rural (m) 300 ppm	349	739	1100	1100
Radio de riesgo Zona Urbana (m) 300 ppm	287	595	894	926
Radio de amortiguamiento Zona Rural (m) 25 ppm	1300	2600	3200	3300
Radio de amortiguamiento Zona Urbana (m) 25 ppm	2200	1100	3000	3000

**Resultados para la Estabilidad “D” Altura del orificio 0.25 (m)**

<b>Diámetro del orificio (in)</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>1.0</b>	<b>1.5</b>
Velocidad de descarga (kg/min)	37.4	149	325	348
Cantidad descargada (kg)	357	369	373	385
Tiempo (minutos)	60	25	9	6
Radio de riesgo Zona Rural (m) 300 ppm	252	525	789	816
Radio de riesgo Zona Urbana (m) 300 ppm	209	430	645	668
Radio de amortiguamiento Zona Rural (m) 25 ppm	938	1900	2900	3000
Radio de amortiguamiento Zona Urbana (m) 25 ppm	777	1600	2400	2500

**Resultado para la Estabilidad “C” Altura del orificio 0.12 m**

<b>Diámetro del orificio (in)</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>0.75</b>	<b>1.0</b>
Velocidad de descarga (kg/min)	37.3	149	328	512
Cantidad descargada (kg)	518	522	522	526
Tiempo (minutos)	50	17	4	3
Radio de riesgo Zona Rural (m) 300 ppm	352	739	1100	1400
Radio de riesgo Zona Urbana (m) 300 ppm	286	590	877	1100
Radio de amortiguamiento Zona Rural (m) 25 ppm	1300	2700	2800	3800
Radio de amortiguamiento Zona Urbana (m) 25 ppm	1100	2100	2600	3500

**Resultado para la Estabilidad “D” Altura del orificio 0.12 m**

<b>Diámetro del orificio (in)</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>	<b>0.75</b>	<b>1.0</b>
Velocidad de descarga (kg/min)	37.3	149	328	512
Cantidad descargada (kg)	518	522	522	526
Tiempo (minutos)	50	17	4	3
Radio de riesgo Zona Rural (m) 300 ppm	252	522	791	1000
Radio de riesgo Zona Urbana (m) 300 ppm	209	430	647	818
Radio de amortiguamiento Zona Rural (m) 25 ppm	937	1900	2900	3700
Radio de amortiguamiento Zona Urbana (m) 25 ppm	776	1600	2400	3100

### 7.3.2.2 Programa de Simulación ARCHIE

Para las simulaciones con el programa ARCHIE se consideraron cuatro diámetros de orificio (0.25, 0.50, 0.75 y 1.0 pulgadas), dos estabilidades atmosféricas (C y D), el modelo no da opción para tipo de rugosidad (zona rural y urbana).

#### Datos para el cálculo de la velocidad de emisión

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Punto normal de ebullición	-28.12	°F
Coefficiente de descarga	0.62	adimensional
Temperatura del contenido	75.2	°F
Temperatura ambiente	80.06	°F
Presión de vapor en el tanque	194.7	psia
Gravedad específica del líquido	0.7	adimensional

#### Resultados de la velocidad y duración de la descarga

Peso del contenido en el tanque (lb)	787.05	813.50	822.32	848.77
Diámetro del orificio (in)	0.25	0.5	0.75	1.0
Altura del líquido en el tanque (ft)	0.95	0.98	0.98	1.02
Velocidad de descarga (lb/min)	108.4	433.5	975.3	1733.8
Tiempo (minutos)	7.27	1.88	0.844	0.49

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

Localidad	Según sea el caso	
Peso molecular	17.03	lb/lb.mol
Concentración de interés	IDLH = 300 TLV = 25	ppm
Altura de la descarga	0.0	pies (ft)
Estabilidad Atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	***
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6.26</li> <li>• 18.57</li> </ul>	millas por hora (mph)
Temperatura ambiente	80.06	°F

#### Resultados para el Evento Alternativo

Diámetro del orificio (in)		0.25	0.5	0.75	1.0
Radio de riesgo (m) (E- "C") 300 ppm		239	502	640	673
Radio de riesgo (m) (E- "D") 300 ppm		218	481	775	1036
Radio de amortiguamiento (m) (E- "C") 25 ppm		913	1575	1654	1686
Radio de amortiguamiento (m) (E- "D") 25 ppm		920	2150	2973	3179



### 7.3.2.3 Programa de Simulación SCRI

Para las simulaciones con el programa SCRI se consideraron cuatro flujos que corresponden a 4 diámetros de orificio (0.25, 0.5, 0.75 y 1.0 pulgadas), dos estabilidades atmosféricas (C y D), el modelo no da opción para tipo de rugosidad (zona rural y urbana).

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Fecha	***	***
Nombre de la sustancia	Amoniaco	***
Lugar donde ocurre la emisión	Según sea el caso	***
Concentración de interés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 207.67</li> <li>• 17.31</li> </ul>	mg/m <sup>3</sup>
Altura del evento	0.25	metros (m)
Altura de la capa de inversión térmica	0.0	metros (m)
Clase de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	***
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.8</li> <li>• 8.3</li> </ul>	m/s
Ángulo de fluctuación	15	grados (°)

#### Resultados para el Evento Alternativo

Diámetro del orificio (in)	0.25	0.50	0.75	1.0
Gasto de emisión (g/s)	623.3	2483.3	5416.6	5800
Radio de riesgo (m) Estabilidad C 300 ppm	191	409	627	651
Radio de riesgo (m) Estabilidad D 300 ppm	185	411	644	670
Radio de amortiguamiento (m) Estabilidad C 25 ppm	749	1602	2459	2554
Radio de amortiguamiento (m) Estabilidad C 25 ppm	776	1725	2708	2817

## 7.4 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LIBERACIÓN DE CLORO

### 7.4.1 Evento Catastrófico Tanque de 907 kg.

Fuga del contenido total del tanque de almacenamiento (907 kg) de cloro líquido, por presentar un orificio de 0.53 pulgadas de diámetro en el fondo del tanque, debido a la caída del mismo durante las maniobras de carga y descarga o por un impacto en el cuerpo del tanque.

**7.4.1.1 Programa de Simulación ALOHA****Información de la fuente**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Tipo de tanque	Cilíndrico Horizontal	***
Diámetro del tanque	0.765	metros (m)
Longitud del tanque	2.102	metros (m)
Temperatura interna	-15	°C
Masa en el tanque	907	kilogramos (kg)
Diámetro del orificio	0.53	pulgadas (in)
Altura a la que se localiza el orificio	En el fondo del tanque (0.0)	metros (m)
Concentraciones de interés (ppm)	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1	ppm

**Resultados para el Evento Catastrófico**

Rugosidad del terreno	Rural	Urbano
Velocidad de emisión (kg/min)	100	100
Cantidad total liberada (kg)	907	907
Tiempo (minutos)	10	10
Radio de riesgo (m) 10 ppm	2200	1800
Radio de amortiguamiento (m) 1 ppm	6300	5600

**7.4.1.2 Programa de Simulación ARCHIE****Datos para el cálculo de la velocidad de emisión**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Punto normal de ebullición	- 29.29	°F
Masa en el tanque	1999.59	libras
Diámetro del orificio de descarga	0.32	pulgadas (in)
Coefficiente de descarga	0.62	adimensional
Altura del líquido en el tanque	1.57	pies (ft)
Temperatura del contenido	5	°F
Temperatura ambiente	96.8	°F
Presión de vapor en el tanque	128.46	psia
Gravedad específica del líquido	1.46	adimensional

**Resultados de la velocidad y duración de la descarga**

Velocidad de emisión	204.3 lb/min	92.67 kg/min
Duración de la emisión	9.8 min.	9.8 min.

**Datos para el cálculo del radio de afectación**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Latitud (Coordenadas)	Según sea el caso	***
Longitud (Coordenadas)	Según sea el caso	***
Peso molecular	70.906	lb/lb.mol
Concentración de interés	IDLH = 10 TLV = 1	ppm
Altura de la descarga	0.0	pies (ft)
Estabilidad Atmosférica	F	***
Velocidad del viento	3.35	mph
Temperatura ambiente	96.8	(°F)
Velocidad de emisión	204.3	lb/min
Duración de la emisión	9.8	minutos (min)

**Resultados para el Evento Catastrófico**

Radio de riesgo(m)	10 ppm	8850
Radio de amortiguamiento (m)	1 ppm	31554

**7.4.1.3 Programa de Simulación SCRI****Datos para el cálculo del radio de afectación**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Fecha	***	***
Nombre de la sustancia	Cloro	***
Lugar donde ocurre la emisión	Según sea el caso	***
Concentración de interés	• 30 • 3	mg/m <sup>3</sup>
Gasto del evento	1511.66	g/s
Altura del evento	0.0	metros (m)
Altura de la capa de inversión térmica	0.0	metros (m)
Clase de estabilidad	F	
Velocidad del viento	1.5	m/s
Ángulo de fluctuación	15	grados (°)

**Resultados para el Evento Catastrófico**

Radio de riesgo (m)	10 ppm	8794
Radio de amortiguamiento (m)	1 ppm	51748

### 7.4.2 Evento Alternativo Tanque de 907 kg.

Ruptura de la tubería que conduce el cloro líquido del tanque de almacenamiento al cabezal de dosificación. Debido a falta de mantenimiento, por agotamiento de su vida útil o por falla del material. La tubería es de cobre de 3/8 de pulgada de diámetro.

#### 7.4.2.1 Programa de Simulación ALOHA

##### Información de la fuente

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Tipo de tanque	Cilíndrico Horizontal	***
Diámetro del tanque	0.765	metros (m)
Longitud del tanque	2.102	metros (m)
Temperatura interna	-15	°C
Masa en el tanque	907	kilogramos (kg)
Diámetro del orificio	0.375	pulgadas (in)
Altura a la que se localiza el orificio	0.42	metros (m)
Concentración de interés	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1	ppm

##### Resultados

Estabilidad atmosférica	“C”	“D”
Diámetro del orificio (in)	0.375	0.375
Velocidad de descarga (kg/min)	17	17
Cantidad descargada (kg)	150	150
Tiempo (minutos)	60	60
Radio de riesgo Zona Rural (m) 10 ppm	660	475
Radio de riesgo Zona Urbana (m) 10 ppm	536	388
Radio de amortiguamiento Zona Rural (m) 1 ppm	2200	1600
Radio de amortiguamiento Zona Urbana (m) 1 ppm	1800	1300

#### 7.4.2.2 Programa de Simulación ARCHIE

##### Datos para el cálculo de la velocidad de emisión

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Punto normal de ebullición	- 29.29	°F
Masa en el tanque	330.69	libras
Diámetro del orificio de descarga	0.375	pulgadas (in)
Coefficiente de descarga	0.62	adimensional
Altura del líquido en el tanque	1.38	pies (ft)
Temperatura del contenido	5	°F
Temperatura ambiente	80.06	°F
Presión de vapor en el tanque	128.46	psia
Gravedad específica del líquido	1.46	adimensional

**Resultados de la velocidad y duración de la emisión**

Velocidad de emisión	280.4 lb/min	127.19 kg/min
Duración de la emisión	1.18 min.	1.18 min.

**Datos para el cálculo del radio de afectación**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Latitud (Coordenadas)	Según sea el caso	***
Longitud (Coordenadas)	Según sea el caso	***
Peso molecular	70.906	lb/lb.mol
Concentración de interés	IDLH = 10 TLV = 1	ppm
Altura de la descarga	3	pies (ft)
Estabilidad Atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	***
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6.26</li> <li>• 18.57</li> </ul>	millas por hora (mph)
Temperatura ambiente	80.06	(°F)
Velocidad de emisión	280.4	lb/min
Duración de la emisión	1.18	minutos (min)

**Resultados**

Estabilidad		“C”	“D”
Radio de riesgo (m) 10 ppm		942	1200
Radio de amortiguamiento (m) 1 ppm		2281	4247

**7.4.2.3 Programa de Simulación SCRI****Datos para el cálculo del radio de afectación**

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Fecha	***	***
Nombre de la sustancia	Cloro	***
Lugar donde ocurre la emisión	Según sea el caso	***
Concentración de interés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30</li> <li>• 3</li> </ul>	mg/m <sup>3</sup>
Altura del evento	0.42	metros (m)
Altura de la capa de inversión térmica	0.0	metros (m)
Clase de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	***
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.8</li> <li>• 8.3</li> </ul>	m/s
Ángulo de fluctuación	30	grados (°)

**Resultados para Evento Alternativo**

<b>Estabilidad</b>		<b>“C”</b>	<b>“D”</b>
Radio de riesgo (m)	10 ppm	359	358
Radio de amortiguamiento (m)	1 ppm	1273	1355

**7.4.3 Evento Alternativo Tanque de 907 kg.**

Fuga de gas cloro del tanque de almacenamiento, por un orificio de 0.5 pulgadas de diámetro. El cual se origina debido a falta de mantenimiento, por agotamiento de su vida útil o falla del material.

**7.4.3.1 Programa de Simulación ALOHA****Información de la fuente**

<b>VARIABLES</b>	<b>DATOS</b>	<b>UNIDADES</b>
Tipo de tanque	Cilíndrico Horizontal	***
Diámetro del tanque	0.765	metros (m)
Longitud del tanque	2.102	metros (m)
Temperatura interna	-15	°C
Masa en el tanque	907	kilogramos (kg)
Diámetro del orificio	0.5	pulgadas (in)
Altura a la que se localiza el orificio	0.50	metros (m)
Concentración de interés	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1	ppm

**Resultados**

<b>Estabilidad atmosférica</b>		<b>“C”</b>	<b>“D”</b>
Diámetro del orificio (in)		0.5	0.5
Velocidad de descarga (kg/min)		3.84	3.84
Cantidad descargada (kg)		60.5	60.5
Tiempo (minutos)		34	34
Radio de riesgo Zona Rural (m)	10 ppm	305	218
Radio de riesgo Zona Urbana (m)	10 ppm	249	180
Radio de amortiguamiento Zona Rural (m)	1 ppm	1000	730
Radio de amortiguamiento Zona Urbana (m)	1 ppm	839	605

### 7.4.3.2 Programa de Simulación ARCHIE

#### Datos para el cálculo de la velocidad de emisión

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Punto normal de ebullición	- 29.29	°F
Masa en el tanque	133.38	libras
Diámetro del orificio de descarga	0.5	pulgadas (in)
Coefficiente de descarga	0.62	adimensional
Altura del líquido en el tanque	1.64	pies (ft)
Temperatura del contenido	5	°F
Temperatura ambiente	80.06	°F
Presión de vapor en el tanque	128.46	psia
Gravedad específica del líquido	1.46	adimensional

#### Resultados de la velocidad y duración de la emisión

Velocidad de emisión	498.2lbs/min	225.98 kg/min
Duración de la emisión	0.268 min	0.268

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Latitud (Coordenadas)	Según sea el caso	***
Longitud (Coordenadas)	Según sea el caso	***
Peso molecular	70.906	lb/lb.mol
Concentración de interés	IDLH = 10 TLV = 1	ppm
Altura de la descarga	1.64	pies (ft)
Estabilidad Atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	***
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 6.26</li> <li>• 18.57</li> </ul>	millas por hora (mph)
Temperatura ambiente	80.06	(°F)
Velocidad de emisión	498.2	lb/min
Duración de la emisión	0.268	minutos (min)

#### Resultados para Evento Alternativo

Estabilidad		“C”	“D”
Radio de riesgo (m)	10 ppm	714	1224
Radio de amortiguamiento (m)	1 ppm	1655	3661

### 7.4.3.3 Programa de Simulación SCRI

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

VARIABLES	DATOS	UNIDADES
Fecha	***	***
Nombre de la sustancia	Cloro	***
Lugar donde ocurre la emisión	Según sea el caso	***
Concentración de interés	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 30</li> <li>• 3</li> </ul>	mg/m <sup>3</sup>
Altura del evento	0.50	metros (m)
Altura de la capa de inversión térmica	0.0	metros (m)
Clase de estabilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	***
Velocidad del viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2.8</li> <li>• 8.3</li> </ul>	m/s
Ángulo de fluctuación	30	grados (°)
Gasto de emisión	64	g/s

#### Resultados para Evento Alternativo

Estabilidad		“C”	“D”
Radio de riesgo (m)	10 ppm	159	152
Radio de amortiguamiento (m)	1 ppm	562	574

## 7.5 RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES PARA LIBERACIÓN DE GAS LP.

### 7.5.1 Evento Catastrófico

Para el caso de sustancias inflamables y/o explosivas el evento catastrófico que debe considerarse es una explosión.

#### Explosión de nube de vapor

Se considera una fuga en el cuerpo del tanque de almacenamiento que contiene gas licuado de petróleo en estado líquido debido a un mal mantenimiento, lo cual puede generar corrosión en el tanque originándose un orificio por donde se fuga el material o por un impacto directo en el cuerpo del tanque. El cual da lugar a la formación de una nube de vapor que se incendia y posteriormente se produce una explosión. Los tanques de almacenamiento se encuentran al 85% de su capacidad las cuales son de 125,000 y 250,000 litros.



### 7.5.1.1 Programa de Simulación ARCHIE

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

DATOS	VALORES	VALORES	UNIDADES
Capacidad del tanque (litros)	125,000	250,000	litros
Calor de combustión inferior	21,542	21,542	BTU/lb
Factor de explosividad	0.03	0.03	adimensional
Peso del gas explosivo (este valor se obtiene de la opción para el cálculo de incendio de nube de vapor)	67,297	166,454	libras (lb)
Dónde ocurre el evento <ul style="list-style-type: none"> <li>• 1.- Arriba del nivel del piso</li> <li>• 2.- Nivel de piso</li> </ul>	2	2	***

El peso del gas explosivo se obtiene con la opción de incendio de nube de vapor, para el cual se consideran condiciones de estabilidad atmosférica F, la velocidad del viento 1.5 m/s, temperatura ambiente de 36°C y duración de la fuga de 10 minutos que corresponden a un evento catastrófico.

#### Datos para el cálculo de velocidad de emisión

VARIABLES	DATOS	DATOS	UNIDADES
Capacidad del tanque	250,000	125,000	litros
Punto normal de ebullición	- 44	- 44	°F
Diámetro del orificio de descarga	4.3	3.0	pulgadas (in)
Coefficiente de descarga	0.62	0.62	adimensional
Altura del líquido en el tanque	8.82	9	pies (ft)
Temperatura del contenido	77	77	°F
Temperatura ambiente	96.8	96.8	°F
Presión de vapor en el tanque	156.9	156.9	psia
Gravedad específica del líquido	0.5077	0.5077	adimensional

#### Resultados de la velocidad y duración de la emisión

<b>Capacidad del tanque (litros)</b>	<b>250,000</b>	<b>125,000</b>
Velocidad de emisión (lb/min)	24,339	11,848
Duración de la emisión (min)	9.78	10.1

**Datos para el cálculo del radio de afectación**

VARIABLES	DATOS	DATOS	UNIDADES
Capacidad del tanque	250,000	125,000	litros
Estabilidad atmosférica	F	F	***
Velocidad del viento	3.35	3.35	mph
Velocidad de emisión	24,339	11,848	lb/min
Duración de la emisión	9.78	10.1	minutos
Peso molecular	44.097	44.097	lb/lb.mol
Punto normal de ebullición	-44	-44	°F
Límite inferior de inflamabilidad	2.1	2.1	% en volumen
Temperatura del líquido en el tanque	77	77	°F
Temperatura ambiente	96.8	96.8	°F

**Resultados para Incendio de Nube de Vapor**

Capacidad del tanque	125,000 litros		250,000 litros	
	½ LFL	LFL	½ LFL	LFL
Distancia de peligro viento abajo (m)	616	511	741	615
Ancho máximo de peligro viento abajo (m)	862	715	1038	860
Peso del gas arrastrado por el aire (lb)	81147	<b>67297</b>	200712	<b>166454</b>
Densidad relativa inicial vapor/aire	2.05	2.05	2.05	2.05

Nota: Radio de afectación es ½ LFL a una radiación de 5 KW/m<sup>2</sup>  
Radio de amortiguamiento es LFL a una radiación de 1.4 KW/m<sup>2</sup>

**Resultados para el Evento Catastrófico**

Capacidad del tanque (litros)	125,000	250,000
Radio de riesgo (m) sobrepresión de 0.5 psi	355	480
Radio de amortiguamiento (m) sobrepresión de 1.0 psi	615	832

### 7.5.1.2 Programa de Simulación SCRI

#### Explosión de nube de vapor

##### Datos para el cálculo del radio de afectación

DATOS	VALORES	UNIDADES
Lugar donde ocurre la emisión	Según sea el caso	***
Tipo de sustancia - (A) Gas a 500 psi ó más - (B) Gas licuado por alta presión o baja temperatura - (C) Líquido inflamable ó combustible	B	***
Peso molecular	44.097	lb/lb.mol
Calor de combustión	21,542	BTU/lb
Límite inferior de explosividad	2.1	% volumen
Límite superior de explosividad	9.5	% volumen
Altura de la nube	10	pies (ft)
Densidad a la temperatura del proceso	0.5077	g/ml
Temperatura de ebullición	-42.2	°C
Temperatura de proceso	25	°C
Volumen del contenido en el tanque	28,071.25 – 56,142.5	galones (gal)

Capacidad del tanque (lt)	125,000	250,000
Peso del material líquido fugado (lbs)	118,695.912	237,391.824
Peso del material vaporizado (lbs)	118,695.912	237,391.824
Fracción del material en la nube (%)	0.058	0.058
Diámetro de la nube (ft)	0.0	0.0
Energía desprendida DMP	12.784737	25.569473
Energía desprendida DMC	63.923683	127.847367

##### Resultados para el Evento Catastrófico

Capacidad del tanque	125,000 litros		250,000 litros	
Sobrepresión (psi)	DMP (m)	DMC (m)	DMP (m)	DMC (m)
0.5 (Radio de riesgo)	920.107	1573.361	1159.263	1982.311
1.0 (Radio de amortiguamiento)	570.167	974.972	718.366	1228.388

## 7.5.2 Evento Alternativo

### Programa de simulación ARCHIE

#### 7.5.2.1 Radiación por bola de fuego (BLEVE)

Se origina un incendio externo que incide sobre el tanque de almacenamiento especialmente por encima del nivel líquido del gas licuado de petróleo que esta a presión, esto propicia que se debilite la resistencia del tanque y ocurra una ruptura repentina de éste dando lugar a un escape súbito del contenido que cambia masivamente al estado de vapor y debido a que esta sustancia es inflamable se produce un incendio de tipo bola de fuego. Se simulará para dos capacidades de almacenamiento del tanque 250,000 y 125,000 litros llenados al 85%.

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

Datos que pide el programa	Valores (libras)
Tanque con capacidad de 125,000 l	118,924.09
Tanque con capacidad de 250,000 l	237,848.18

#### Resultados para Incendio por Bola de Fuego

Capacidad del tanque (litros)	125,000	250,000
Diámetro máximo de la bola de fuego (m)	239	301
Altura máxima de la bola de fuego (m)	393	495
Tiempo (segundos)	15.7	17.7
Radio zona de daño (m)	314	463
Radio zona de fatalidad (m)	602	863

#### 7.5.2.2 Incendio Flama Jet

Se produce una fuga por una pequeña fisura en el cuerpo del tanque de almacenamiento que contiene gas licuado de petróleo en estado líquido, debido a un mantenimiento deficiente, que trae como consecuencia la descarga del gas que forma un chorro a presión, el cual al entrar en contacto con una fuente de ignición provoca un incendio de tipo dardo de fuego.

#### Datos para el cálculo del radio de afectación

DATOS	VALORES	UNIDADES
Punto normal de ebullición	-44	°F
Temperatura del contenido	77	°F
Temperatura ambiente	80.15	°F
Presión en el contenedor	156.9	psia
Calor específico (Cp/Cv)	1.3	adimensional
Peso molecular	44.097	lb/lb.mol
Límite inferior de inflamabilidad	2.1	% en volumen

### Resultados para Flama Jet

<b>Diámetro del orificio (in)</b>	<b>0.10</b>	<b>0.12</b>	<b>0.25</b>	<b>0.5</b>
Longitud de la flama (m)	2.7	3.0	6.4	12.5
Distancia de seguridad (m)	5.2	6.0	12.5	25

#### 7.5.2.3 Incendio de Nube de Vapor

Fuga en el cuerpo del tanque de almacenamiento de gas licuado de petróleo debido a un mal mantenimiento que puede generar corrosión en el tanque originándose un orificio por donde se fuga el material o por un impacto directo en el cuerpo del tanque. El cual da lugar a la formación de una nube de vapor que al encontrar una fuente de ignición produce un incendio. La cantidad que se fuga es el 50% del contenido total. Los tanques de almacenamiento se encuentran al 85% de su capacidad, las cuales son de 125,000 y 250,000 litros.

#### Datos para el cálculo de la velocidad de emisión

<b>VARIABLES</b>	<b>DATOS (125,000 l)</b>	<b>DATOS (250,000 l)</b>	<b>UNIDADES</b>
Cantidad liberada	59462	118924.09	libras
Punto normal de ebullición	- 44	- 44	°F
Diámetro del orificio de descarga	0.5 – 1.0	0.5 – 1.0	pulgadas (in)
Coefficiente de descarga	0.62	0.62	adimensional
Altura del líquido en el tanque	4.76	4.53	pies (ft)
Temperatura del contenido	77	77	°F
Temperatura ambiente	80.06	80.06	°F
Presión de vapor en el tanque	156.9	156.9	psia
Gravedad específica del líquido	0.5077	0.5077	adimensional

#### Resultados de la velocidad y duración de la emisión

<b>Diámetro del orificio (in)</b>	<b>0.5</b>		<b>1.0</b>	
Capacidad del tanque (litros)	125,000	250,000	125,00	250,000
Velocidad de emisión (lb/min)	328.6	328.6	1314.3	1314.3
Duración de la emisión (min)	181	362	45.3	90.5

**Datos para el cálculo del radio de afectación**

VARIABLES	DATOS	DATOS	UNIDADES
Capacidad del tanque	250,000	125,000	litros
Estabilidad atmosférica	C - D	C - D	***
Velocidad del viento	6.26 – 18.57	6.26 – 18.57	mph
Peso molecular	44.097	44.097	lb/lb.mol
Punto normal de ebullición	-44	-44	°F
Límite inferior de inflamabilidad	2.1	2.1	% en volumen
Temperatura del líquido en el tanque	77	77	°F
Temperatura ambiente	80.06	80.06	°F

**Resultados para la Estabilidad C**  
**Diámetro del orificio de 0.5 pulgadas**

Capacidad del tanque (litros)	125,000		250,000	
	½ LFL	LFL	½ LFL	LFL
Distancia de peligro viento abajo (m)	86.26	59.44	86.26	59.44
Ancho máximo de peligro viento abajo (m)	43.28	29.87	43.28	29.87
Peso del gas arrastrado por el aire (kg)	76.66	52.62	76.66	52.62
Densidad relativa inicial vapor/aire	1.99	1.99	1.99	1.99

**Resultados para la Estabilidad D**  
**Diámetro del orificio de 0.5 pulgada**

Capacidad del tanque (litros)	125,000		250,000	
	½ LFL	LFL	½ LFL	LFL
Distancia de peligro viento abajo (m)	86.26	59.44	86.26	59.44
Ancho máximo de peligro viento abajo (m)	43.28	29.87	43.28	29.87
Peso del gas arrastrado por el aire (kg)	25.85	18.14	25.85	18.14
Densidad relativa inicial vapor/aire	1.99	1.99	1.99	1.99

**Resultados para la Estabilidad C**  
**Diámetro del orificio de 1.0 pulgadas**

Capacidad del tanque (litros)	125,000		250,000	
	½ LFL	LFL	½ LFL	LFL
Distancia de peligro viento abajo (m)	181.97	125.27	181.97	125.27
Ancho máximo de peligro viento abajo (m)	91.13	62.79	91.13	62.79
Peso del gas arrastrado por el aire (kg)	218.18	444.52	645.92	444.52
Densidad relativa inicial vapor/aire	1.99	1.99	1.99	1.99

**Resultados para la Estabilidad D  
Diámetro del orificio de 1.0 pulgada**

Capacidad del tanque (litros)	125,000		250,000	
	½ LFL	LFL	½ LFL	LFL
Distancia de peligro viento abajo (m)	181.97	125.27	181.97	125.27
Ancho máximo de peligro viento abajo (m)	91.13	62.79	91.13	62.79
Peso del gas arrastrado por el aire (kg)	218.18	150.14	218.18	150.14
Densidad relativa inicial vapor/aire	1.99	1.99	1.99	1.99

El almacenamiento de gas licuado de petróleo es en tanque cilíndrico horizontal, para el tanque de 125,000 litros de capacidad las dimensiones son diámetro de 3.37 m y longitud de 15 m., para la capacidad de 250,000 litros las dimensiones son diámetro de 3.37 m y longitud de 29.90 m. Cabe mencionar que estos datos no los pide el programa ARCHIE.

## 7.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados obtenidos del evento catastrófico para el amoniaco, cloro y gas licuado de petróleo.

### AMONIACO EVENTO CATASTRÓFICO

PROGRAMA	ALOHA	ARCHIE	SCRI
Radio de afectación (Zona rural ) (m)	728	1721	1637
Radio de afectación (Zona urbana ) (m)	570		

### CLORO EVENTO CATASTRÓFICO

PROGRAMA	ALOHA	ARCHIE	SCRI
Radio de afectación (Zona rural ) (m)	2200	8850	8794
Radio de afectación (Zona urbana ) (m)	1800		

### GAS LICUADO DE PETRÓLEO EVENTO CATASTRÓFICO

Programa	Radio de afectación (m) Capacidad de 125,000 lts.	Radio de afectación (m) Capacidad de 250,000 lts.
ARCHIE	355	480
SCRI - DMP	1159	920
- DMC	1982	1573

En caso de ocurrir un evento que involucrara alguna de estas sustancias ya sea amoniaco, cloro o gas licuado de petróleo, se observa, a partir de los resultados obtenidos en las simulaciones del evento catastrófico, que la mayor distancia de afectación se obtiene para la dispersión de nubes tóxicas de cloro (1800 m), seguido por dispersión de nubes tóxicas de amoniaco (570 m) y por último una explosión de gas licuado de petróleo (480 m).

A continuación se muestran los resultados del escenario alternativo para el amoniaco, cloro y gas licuado de petróleo.

**AMONIACO EVENTO ALTERNATIVO ESTABILIDAD “C”  
“Altura del orificio 0.25 m”**

<b>Diámetro del orificio</b>	<b>0.25</b>	<b>0.50</b>	<b>0.75</b>	<b>1.0</b>
ALOHA - Urbano	287	595	894	926
- Rural	349	739	1100	1100
ARCHIE	239	502	640	673
SCRI	191	409	627	651

**AMONIACO EVENTO ALTERNATIVO ESTABILIDAD “D”  
“Altura del orificio 0.25 m”**

<b>Diámetro del orificio</b>	<b>0.25</b>	<b>0.50</b>	<b>0.75</b>	<b>1.0</b>
ALOHA - Rural	252	525	789	816
- Urbano	209	430	645	668
ARCHIE	218	481	775	1036
SCRI	185	411	644	670

Para el amoniaco se observa que conforme aumenta el diámetro del orificio en el tanque, el radio de afectación va aumentando, debido a que la velocidad de emisión aumenta y el tiempo que dura la liberación es menor.



**CLORO LÍQUIDO EVENTO ALTERNATIVO ESTABILIDAD “C”**

<b>PROGRAMA</b>	<b>ALOHA</b>	<b>ARCHIE</b>	<b>SCRI</b>
Radio de afectación (Zona rural ) (m)	660	942	359
Radio de afectación (Zona urbana ) (m)	536		

**CLORO LÍQUIDO EVENTO ALTERNATIVO ESTABILIDAD “D”**

<b>PROGRAMA</b>	<b>ALOHA</b>	<b>ARCHIE</b>	<b>SCRI</b>
Radio de afectación (Zona rural ) (m)	475	1200	358
Radio de afectación (Zona urbana ) (m)	388		

**GAS CLORO EVENTO ALTERNATIVO ESTABILIDAD “C”**

<b>PROGRAMA</b>	<b>ALOHA</b>	<b>ARCHIE</b>	<b>SCRI</b>
Radio de afectación (Zona rural ) (m )	305	714	159
Radio de afectación (Zona urbana ) (m)	249		

**GAS CLORO EVENTO ALTERNATIVO ESTABILIDAD “D”**

<b>PROGRAMA</b>	<b>ALOHA</b>	<b>ARCHIE</b>	<b>SCRI</b>
Radio de afectación (Zona rural ) (m)	218	1224	152
Radio de afectación (Zona urbana ) (m)	180		

Para el cloro se consideraron dos eventos alternativos el primero donde se fuga la sustancia en estado líquido y el segundo en estado gaseoso, donde se observo que el radio de afectación es mayor cuando se fuga un líquido que cuando se fuga un gas, esto debido a que la velocidad de emisión es menor para un gas por lo que tarda más tiempo en alcanzar la concentración de interés (IDLH), donde influye la velocidad del viento.

También se observo que el radio de afectación es mayor en una zona rural, esto debido a que no hay obstáculos y la sustancia se dispersa con mayor facilidad.

El cloro presenta radios de afectación mayores a los del amoniaco, esto se debe a que el IDLH del cloro es de 10 ppm y el amoniaco 300 ppm, esto quiere decir que el cloro es más tóxico y que se requiere de una menor concentración para causar daño.

**GAS LICUADO DE PETRÓLEO EVENTOS ALTERNATIVOS**

Programa de simulación ARCHIE

**Bola de Fuego**

<b>Evento</b>	<b>Capacidad 125,000 litros</b>	<b>Capacidad 250,000 litros</b>
Incendio por bola de fuego (m)	314	463

**Dardo de fuego**

Diámetro del orificio (in)	0.10	0.12	0.25	0.5
Radio de afectación (m)	5.2	6.0	12.5	25

**Incendio de nube de vapor**

Capacidad del tanque	125,000 Litros		250,000 Litros	
<b>ESTABILIDAD</b>	<b>“C”</b>	<b>“D”</b>	<b>“C”</b>	<b>“D”</b>
Radio de riesgo (m)	59.44	59.44	59.44	59.44
Diámetro del orificio 0.5 pulgadas				
Radio de riesgo (m)	125.27	125.27	125.27	125.27
Diámetro del orificio 1.0 pulgadas				

Se puede observar que cuando ocurre un evento donde se lleva a cabo un incendio los radios de afectación que se pueden alcanzar son por bola de fuego *463 m*, incendio de nube de vapor *125 m* y dardo de fuego *25 m*.

Para el incendio de dardo de fuego el radio de afectación es pequeño a comparación de los demás eventos, debido a que este incendio es por causa de una fuga por un orificio muy pequeño el cual al encontrar una fuente de ignición se produce el incendio.

En el caso de incendio de nube de vapor el radio de afectación es igual tanto para una estabilidad “C” como para una “D”, esto debido a que considera el límite inferior de inflamabilidad es decir al llegar a este límite se produce el incendio.

## CONCLUSIONES

1.- A partir del análisis de los Estudios de Riesgo y los Programas de Prevención de Accidentes se concluye que dependiendo del consultor que realiza el estudio a empresas de igual giro industrial suponen los mismos escenarios y obtienen los mismos radios de afectación, siendo decisivo el criterio de quien realiza el estudio.

Se detectó que en algunas ocasiones no toman en cuenta los criterios de toxicidad (IDLH), sobrepresión y radiación térmica para determinar los radios de afectación y amortiguamiento, que establece la guía para la elaboración de los estudios de riesgo.

Respecto a las distancias de afectación que reportan las industrias que llevan a cabo actividades consideradas de alto riesgo, se observa que para la misma sustancia e igual tipo de industria los resultados son muy variables, reportando para el caso de amoniaco nubes tóxicas con valores de *30 a 5278 m*, para el cloro de *30 a 2700 m* y para el gas licuado de petróleo en caso de incendio de *23 a 475 m* y para explosión de *27 a 645 m*.

Muchos consultores reportan la distancia de afectación para el caso catastrófico, es decir la liberación total de la cantidad almacenada, aunque esto es poco probable que ocurra en la realidad, y la guía para la elaboración de estudios de riesgo en México, no establece la obligatoriedad de simular el evento catastrófico.

2.- Los escenarios que se establecieron para determinar las distancias de afectación para las tres sustancias estudiadas amoniaco, cloro y gas licuado de petróleo, fueron dos eventos un catastrófico en el cual se considera que se libera la masa total contenida en el tanque y un evento alternativo que fuera representativo de una situación que podría presentarse en cualquier estado de la República Mexicana y en más de una instalación industrial.

Para el evento alternativo en el caso del amoniaco se estableció fuga en un tanque receptor de 602 kg los cuales utilizan las industrias refresqueras, de conservación de alimentos y para la elaboración de hielo; para el cloro se estableció fuga por ruptura de la tubería que conduce el cloro líquido del tanque de almacenamiento al cabezal de dosificación en un tanque de 907 kg que es el tanque de almacenamiento de cloro que utilizan las industrias principalmente para el tratamiento de aguas potable y residuales, y en el caso de gas licuado de petróleo el evento alternativo fue un incendio (como puede ser incendio de nube de vapor, bola de fuego y dardo de fuego) en los tanques de almacenamiento con capacidad de 125,000 y 250,000 litros, que son las capacidades más empleadas por las gaseras y estaciones de carburación que almacenan y distribuyen el gas L.P.

3.- De las distancias de afectación que se estimaron con los programas de simulación ALOHA, ARCHIE y SCRI, para simular dispersión de nubes tóxicas el programa más completo es ALOHA, por los datos que requiere el programa en el que se consideran las propiedades fisicoquímicas de la sustancia, condiciones a la que se encuentra almacenada la sustancia, condiciones atmosféricas del lugar de la emisión, datos de la fuente donde se consideran tipo de tanque, longitud y diámetro, así como los datos del orificio donde se produce la fuga como es diámetro y altura a la que se encuentra en el tanque.

En el caso de gas licuado de petróleo se simuló incendio (bola de fuego, dardo de fuego e incendio de nube de vapor) con el programa ARCHIE ya que es el único que modela este evento. Para explosión se utilizó el modelo ARCHIE y SCRI y se sugiere que se utilice el modelo ARCHIE ya que los datos que se alimentan al programa son más completos con respecto al programa SCRI.

En caso de ocurrir un evento que involucrara alguna de estas sustancias ya sea amoníaco, cloro o gas licuado de petróleo, se observa, a partir de los resultados obtenidos de las diferentes simulaciones que se llevaron a cabo, considerando diversas situaciones que pudieran presentarse, que la mayor distancia de afectación se obtiene para la dispersión de nubes tóxicas de cloro (1800 m), seguido por dispersión de nubes tóxicas de amoníaco (570 m), después para una explosión de gas L.P (480 m) y por último para un incendio de gas licuado de petróleo (bola de fuego 463 m, incendio de nube de vapor 125 m y dardo de fuego 25 m).

Para gases pesados como es el cloro, no es conveniente utilizar el programa de simulación ARCHIE y SCRI para estimar la distancia de afectación por formación de nubes tóxicas, puesto que dichos programas están diseñados para gases ligeros o con densidad similar a la del aire, por lo que se obtienen resultados muy diferentes con respecto al programa ALOHA que está diseñado para simular nubes tóxicas de gases ligeros. Siendo mayores las distancias de afectación calculadas con los programas ARCHIE y SCRI.

Es importante señalar que al llevar a cabo cualquier simulación el resultado obtenido dependerá del modelo de cómputo empleado, así como de las consideraciones particulares que se hagan para cada evento y del criterio de la persona que realiza la simulación.

En cuanto a los programas de cómputo se encontró que para calcular distancias de afectación por nubes tóxicas en el caso de ALOHA, las variables que mayor influencia tienen en el cálculo de la distancia de afectación son: la estabilidad, la velocidad del viento, la temperatura ambiente (si aumenta unos 6 °C el radio de riesgo aumenta aproximadamente 100 metros), el tipo de rugosidad, (el radio de afectación en una zona rural libre de obstáculos es aproximadamente 19% más grande que en una zona urbana), el tamaño del orificio de descarga y la altura del orificio en el tanque.

El programa de cómputo ARCHIE tiene un módulo para realizar el cálculo de velocidad y duración de la emisión y cantidad descargada; sin embargo, siempre considera que se fuga la totalidad de la masa contenida en el tanque, lo cual debe considerarse al realizar la simulación. Por lo tanto, no influye la altura a la que ocurre la fuga en el tanque de almacenamiento, ya que el programa considera que el orificio de salida está en el fondo del tanque.

Cuando se calcula la distancia de afectación con el programa ARCHIE para nubes tóxicas, a partir de la velocidad de emisión determinada con el módulo del propio programa, se obtiene una distancia mucho mayor a la obtenida con ALOHA. Sin embargo, si se alimenta al programa ARCHIE la velocidad de emisión calculada por el programa ALOHA, las distancias de afectación son prácticamente iguales con ambos modelos, indicando por lo tanto que la diferencia entre ambos programas está en el cálculo de la velocidad de emisión y no en el cálculo de la distancia de afectación. De esta manera, se observa que el programa ARCHIE efectivamente sobrestima la velocidad de emisión y subestima el tiempo que dura la liberación, como se reporta en los manuales.

Comparando los resultados de los 3 programas la distancia de afectación calculada por ALOHA es menor, mientras que la calculada con ARCHIE y SCRI son muy similares entre sí y mucho mayores a las reportadas por ALOHA. En el caso del amoníaco, con los programas ARCHIE y SCRI, se obtiene aproximadamente el doble de la distancia calculada con ALOHA y para el cloro es aproximadamente 4 veces mayor a las obtenidas con ALOHA.

En los 3 programas de simulación ALOHA, ARCHIE y SCRI se pueden introducir coordenadas geográficas (altitud, latitud y longitud) del sitio donde ocurre el evento; sin embargo; este dato no influye en el cálculo de la distancia de afectación para ninguno de los programas.

4.- Al comparar las distancias de afectación obtenidas mediante los programas de simulación ALOHA, ARCHIE y SCRI con las reportadas por las industrias de alto riesgo que almacenan amoníaco, cloro y gas licuado de petróleo se concluye que existe una gran variabilidad en los radios de afectación. Teniendo un rango muy grande las distancias determinadas por las industrias.

Esto puede deberse a que cada industria hace sus propias consideraciones para la determinación de la distancia de afectación; en lo cual interviene el criterio del consultor y del personal de la planta, como puede ser elección incorrecta del programa de simulación, los datos que se alimentan al programa para realizar el cálculo, no respetar los criterios de toxicidad/inflamabilidad/explosión que establece la guía para la elaboración de los estudios de riesgo para determinar los radios de afectación o bien manipular los datos para que las distancias de afectación queden contenidas dentro de los límites de propiedad de la empresa y no fuera de sus instalaciones.

5.- Las probables distancias de afectación en caso de incendio, explosión o formación de nubes tóxicas que podrían esperarse para accidentes que involucren cloro, amoníaco o gas licuado de petróleo son:

SUSTANCIA	CAPACIDAD DEL TANQUE	EVENTO	RADIO DE AFECTACIÓN (M)
Cloro (ALOHA)	907 (kg)	Fuga de la masa total del tanque	1800
Amoníaco (ALOHA)	602 (kg)	Fuga de la masa total del tanque	570
Gas Licuado de Petróleo Explosión (ARCHIE)	125,000 (litros)	Fuga de la masa total del tanque, donde se produce una explosión	355
	250,000 (litros)		480
Gas Licuado de Petróleo Incendio de nube de vapor (ARCHIE)	125,000 (litros)	Fuga del 50% de la masa total del tanque, donde se produce un incendio	125
	250,000 (litros)		125
Gas Licuado de Petróleo Incendio Bola de Fuego (ARCHIE)	125,000 (litros)	Fuga de la masa total del tanque, donde se produce un incendio	314
	250,000 (litros)		463
Gas Licuado de Petróleo Incendio Dardo de Fuego (ARCHIE)	125,000 (litros)	Fuga por un orificio pequeño de 0.5" donde se produce un incendio	25
	250,000 (litros)		

Es importante señalar que para determinar cuál modelo de simulación representa mejor a la realidad, se necesita llevar a cabo trabajo de campo o de laboratorio para comparar la realidad con los datos obtenidos de la simulación, o bien comparar los resultados calculados con los programas de simulación con los datos obtenidos a partir de accidentes reales.

## ANEXO 1

En las figuras 1 y 2 se muestran unos gráficos ampliamente utilizados para obtener las  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$ , obtenidos a partir de las fórmulas de Turner. Estos gráficos indican que para una determinada distancia viento abajo de la fuente de emisión, la amplitud del penacho es máxima cuando la inestabilidad atmosférica es también máxima y es mínima cuando la atmósfera es muy estable.

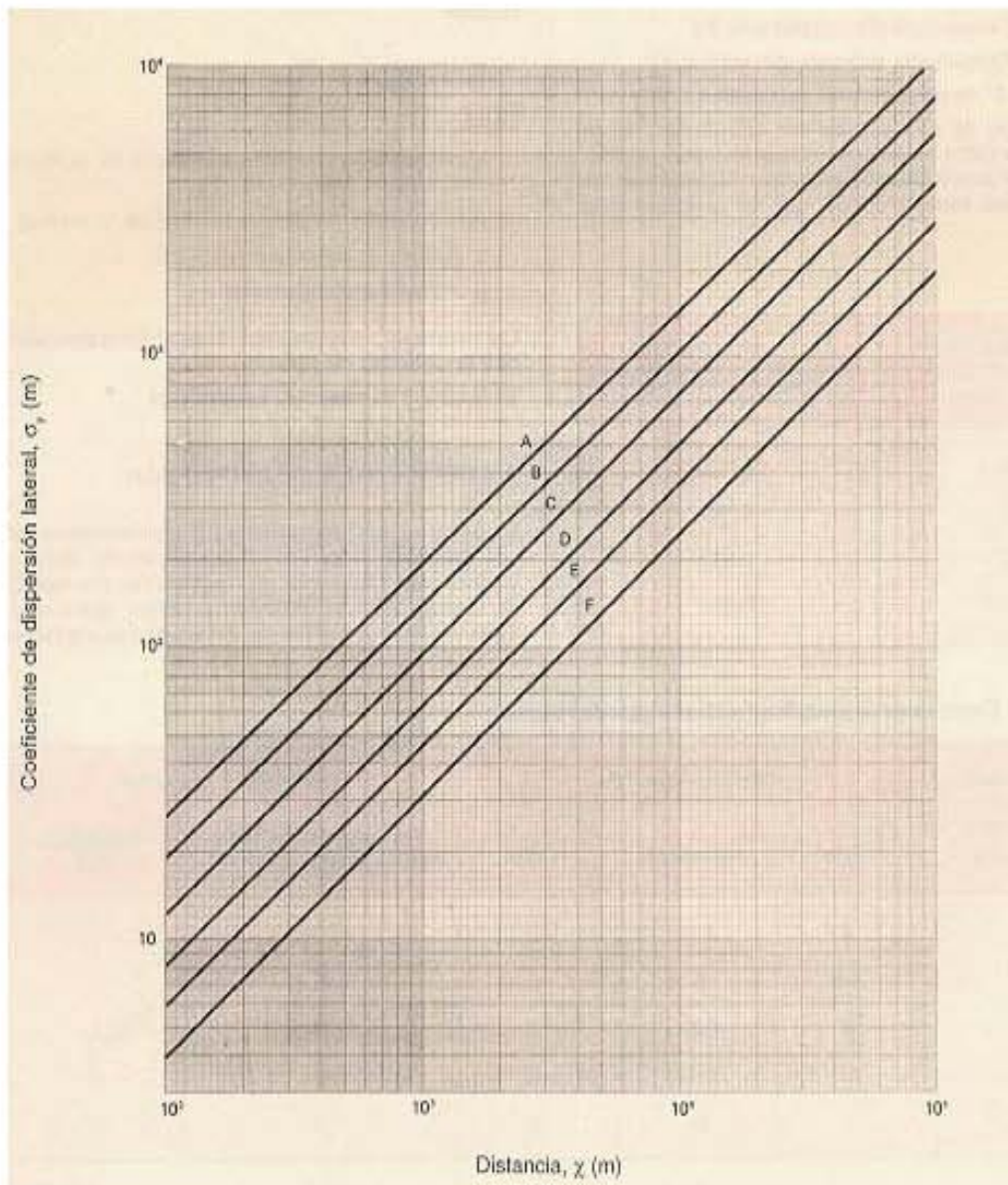
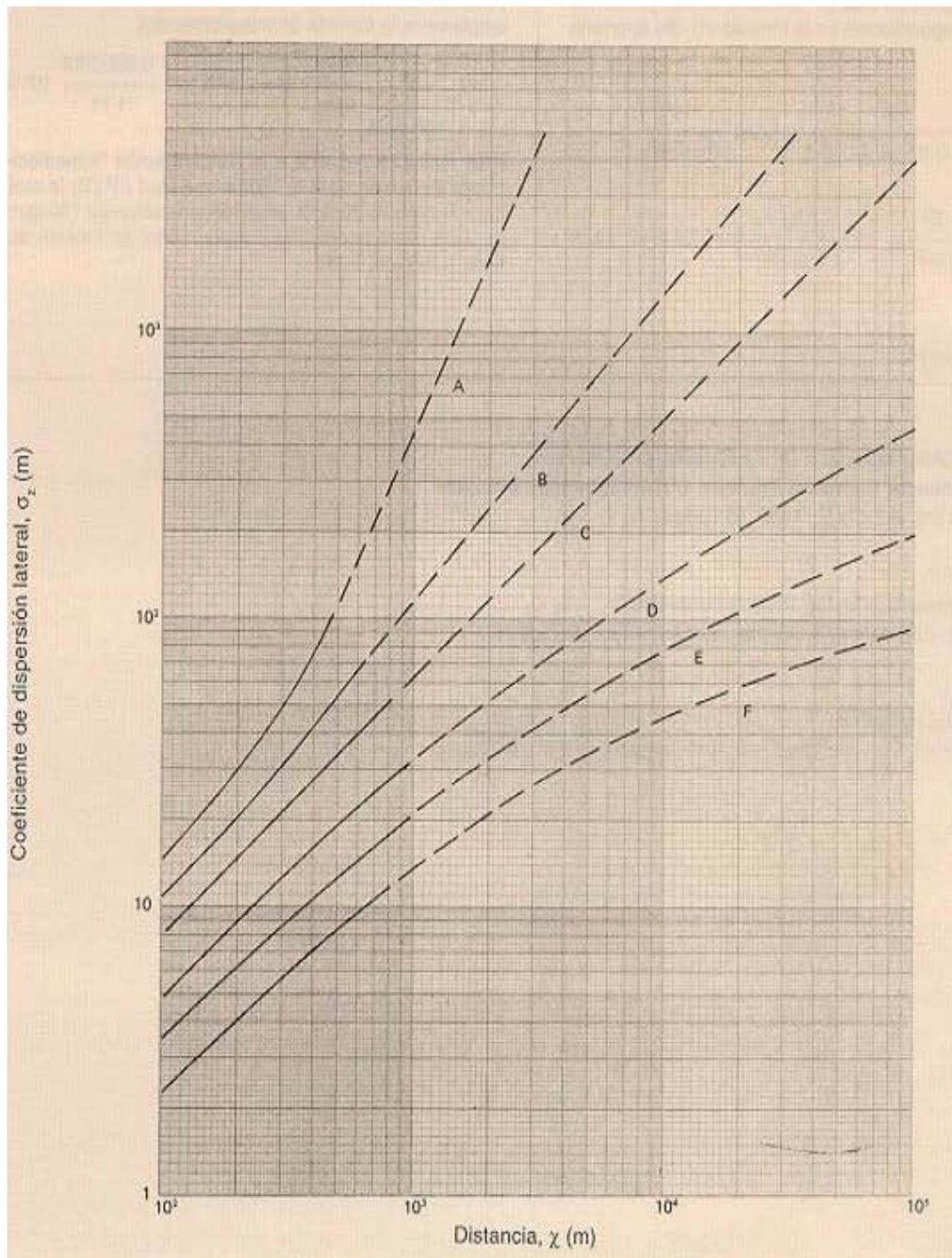


Fig. 1: Coeficiente de dispersión lateral  $\sigma_y$  según distancia y categoría de estabilidad atmosférica



**Fig. 2: Coeficiente de dispersión vertical  $\sigma_z$  según distancia y categoría de estabilidad atmosférica**

Los valores obtenidos por estos gráficos o por las fórmulas que han dado lugar a ellos, solamente son aplicables en campo abierto y debe tenerse en cuenta que en condiciones inestables (A) y estables (F) se pueden cometer errores de varias veces en la estimación de  $\sigma_z$ .

Para condiciones de estabilidad intermedias entre las anteriores, la estimación de  $\sigma_z$  se puede esperar que como máximo, se desvíe al doble del valor estimado por los gráficos.

## ANEXO 2

### GUÍA PARA ELABORAR EL ESTUDIO DE RIESGO

#### CAPITULO VI. ANÁLISIS Y EVALUACION DE RIESGOS.

- VI.1 Antecedentes de accidentes e incidentes ocurridos en ductos similares, describiendo brevemente el evento, las causas, sustancia(s) involucrada(s), nivel de afectación y en su caso, acciones realizadas para su atención.
- VI.2 Identificar los puntos probables de riesgo, empleando una metodología específica (p.ej. Que pasa si/Lista de Verificación, Hazid, Hazop, Arbol de Fallas) o en su caso, cualquier otra cuyos alcances y profundidad de identificación sean similares, debiéndose aplicar la metodología de acuerdo a las especificaciones propias de la misma. En caso de modificar la aplicación, deberá sustentarse técnicamente.

Bajo el mismo contexto, indicar los criterios de selección de la(s) metodología(s) utilizadas para la identificación y jerarquización de riesgos. Asimismo, anexar la memoria descriptiva de la(s) metodología(s) empleada(s).

En la aplicación de la(s) metodología(s) utilizada(s), deberá considerarse todos los aspectos de riesgo de cada uno de los nodos y sectores que conforman la instalación.

Para la jerarquización de Riesgos se podrá utilizar: Matriz de Riesgos, metodologías cuantitativas de identificación de riesgos, o bien, aplicar criterios de peligrosidad de los materiales en función de los gastos, condiciones de operación y/o características CRETI o algún otro método que justifique técnicamente dicha jerarquización.

- VI.3 Determinar los radios potenciales de afectación, a través de la aplicación de modelos matemáticos de simulación, del o los eventos máximos probables de riesgo, identificados en el punto VI.2, e incluir la memoria de cálculo para la determinación de los gastos, volúmenes y tiempos de fuga utilizados en las simulaciones, debiendo justificar y sustentar todos y cada uno de los datos empleados en estas determinaciones.

Para definir y justificar las zonas de seguridad al entorno de la instalación, deberá utilizar los parámetros que se indican a continuación:

	TOXICIDAD (CONCENTRACIÓN)	INFLAMABILIDAD (RADIACION TERMICA)	EXPLOSIVIDAD (SOBREPRESION)
Zona de Riesgo	IDLH	5 KW/m <sup>2</sup> o 1,500 BTU/Pie <sup>2</sup> h	1.0 lb/plg <sup>2</sup>
Zona de Amortiguamiento	TLV <sub>8</sub> o TLV <sub>15</sub>	1.4 KW/m <sup>2</sup> o 440 BTU/Pie <sup>2</sup> h	0.5 lb/plg <sup>2</sup>

- NOTAS:**
- 1) En modelaciones por toxicidad, deben considerarse las condiciones meteorológicas más críticas del sitio con base en la información de los últimos 10 años, en caso de no contar con dicha información, deberá utilizarse Estabilidad Clase F y velocidad del viento de 1.5 m/s.
  - 2) Para el caso de simulaciones por explosividad, deberá considerarse en la determinación de las Zonas de Alto Riesgo y Amortiguamiento el 10% de la energía total liberada.



- VI.4 Representar las zonas de alto riesgo y amortiguamiento en un plano a escala adecuada, donde se indiquen los puntos de interés que pudieran verse afectados (asentamientos humanos, cuerpos de agua, vías de comunicación, caminos, etc.).
- VI.5 Realizar un análisis y evaluación de posibles interacciones de riesgo con otras áreas, equipos o instalaciones próximas a la instalación que se encuentren dentro de la Zona de Alto Riesgo, indicando las medidas preventivas orientadas a la reducción del riesgo de las mismas.
- VI.6 Indicar claramente las recomendaciones técnico operativas resultantes de la aplicación de la metodología para la identificación de riesgos, así como de la evaluación de los mismos, señalados en los puntos VI.2 y VI.3.
- VI.7 Presentar reporte del resultado de la última auditoría de seguridad practicada a las instalaciones que conforman el ducto, anexando en su caso, el programa calendarizado para el cumplimiento de las recomendaciones resultantes de la misma.  
Los aspectos que deberán considerarse en la Auditoría son:
- La revisión de normas y especificaciones de diseño y construcción de las líneas e instalaciones.
  - La existencia y aplicación de procedimientos y programas, para garantizar la adecuada operación y mantenimiento de las instalaciones que conforman las líneas.
  - La implementación de los sistemas de identificación y señalamientos con que se cuenta a lo largo de las líneas para el respeto del derecho de vía.
  - Los programas de inspección, verificación o pruebas, que certifiquen la calidad integral, resistencia mecánica y protección de las instalaciones que conforman las líneas (Medición de espesores, radiografiado, certificación de accesorios y conexiones, protección mecánica y catódica, pruebas hidrostática y neumática, etc.).
  - Programas de revisión de los sistemas y dispositivos de seguridad, tales como alarmas, reguladores de presión o temperatura, instrumentos de control, válvulas de alivio, incluidos los programas de calibración de la instrumentación y elementos de control; así como, de los sistemas y equipos contra-incendio.
  - Verificar que el potencial de riesgo reportado en el estudio de riesgo evaluado, no se halla modificado y si es el caso, reportar sobre los nuevos radios de afectación determinados.
  - Reparaciones o sustitución de tramos efectuados a las líneas.
  - Disponibilidad del equipo necesario de protección personal para operación, mantenimiento y de primeros auxilios
  - Vulnerabilidad de la zona (asentamientos humanos irregulares, zonas habitacionales, áreas naturales protegidas, etc).

Cabe señalar, que deberá poner especial énfasis en aquellas áreas que resultaron ser las de mayor riesgo, de acuerdo con los resultados del estudio de riesgo.

- VI.8 Describir a detalle las medidas, equipos, dispositivos y sistemas de seguridad con que contará la instalación, considerados para la prevención, control y atención de eventos extraordinarios.
- VI.9 **Será de obligatoria observancia y aplicación indicar las medidas preventivas, incluidos los programas de mantenimiento e inspección, así como los programas de contingencias que se aplicarán durante la operación normal de la instalación, para evitar el deterioro del medio ambiente, además de aquellas orientadas a la restauración de la zona afectada en caso de accidente.**

### ANEXO 3

Parámetros requeridos para el Evento Catastrófico y para el Evento Alternativo de acuerdo a lo establecido en el 40 CFR 68.22

**Exhibit 1  
Required Parameters for Modeling (40 CFR 68.22)**

WORST CASE	ALTERNATIVE SCENARIO
<b>Endpoint: (§68.22(x))</b>	
Endpoints for toxic substances are specified in part 68 Appendix A.	Endpoints for toxic substances are specified in part 68 Appendix A.
For flammable substances, endpoint is overpressure of 1 pound per square inch (psi) for vapor cloud explosions.	For flammable substances, endpoint is: ♦ Overpressure of 1 psi for vapor cloud explosions, or ♦ Radiant heat level of 5 kilowatts per square meter (kW/m <sup>2</sup> ) for 40 seconds for heat from fires (or equivalent dose), or ♦ Lower flammability limit (LFL) as specified in NFPA documents or other generally recognized sources.
<b>Wind speed/stability (§68.22(b))</b>	
This guidance assumes 1.5 meters per second and F stability. For other models, use wind speed of 1.5 meters per second and F stability class unless you can demonstrate that local meteorological data applicable to the site show a higher minimum wind speed or less stable atmosphere at all times during the previous three years. If you can so demonstrate, these minimums may be used for site-specific modeling.	This guidance assumes wind speed of 3 meters per second and D stability. For other models, you must use typical meteorological conditions for your site.
<b>Ambient temperature/humidity (§68.22(c))</b>	
This guidance assumes 25 °C (77 °F) and 50 percent humidity. For other models for toxic substances, you must use the highest daily maximum temperature and average humidity for the site during the past three years.	This guidance assumes 25 °C and 50 percent humidity. For other models, you may use average temperature/humidity data gathered at the site or at a local meteorological station.
<b>Height of release (§68.22(d))</b>	
For toxic substances, you must assume a ground level release.	This guidance assumes a ground-level release. For other models, release height may be determined by the release scenario.
<b>Surface roughness (§68.22(e))</b>	
Use urban (obstructed terrain) or rural (flat terrain) topography, as appropriate.	Use urban (obstructed terrain) or rural (flat terrain) topography, as appropriate.
<b>Dense or neutrally buoyant gases (§68.22(f))</b>	
Tables or models used for dispersion of regulated toxic substances must appropriately account for gas density. If you use this guidance, see Tables 1-4 for neutrally buoyant gases and Tables 5-8 for dense gases, or Tables 9-12 for specific chemicals.	Tables or models used for dispersion must appropriately account for gas density. If you use this guidance, see Tables 14-17 for neutrally buoyant gases and Tables 18-21 for dense gases, or Tables 22-25 for specific chemicals.
<b>Temperature of released substance (§68.22(g))</b>	
You must consider liquids (other than gases liquefied by refrigeration) to be released at the highest daily maximum temperature, from data for the previous three years, or at process temperature, whichever is higher. Assume gases liquefied by refrigeration at atmospheric pressure to be released at their boiling points. This guidance provides factors for estimation of release rates at 25 °C or the boiling point of the released substance, and also provides temperature correction factors.	Substances may be considered to be released at a process or ambient temperature that is appropriate for the scenario. This guidance provides factors for estimation of release rates at 25 °C or the boiling point of the released substance, and also provides temperature correction factors.

April 15, 1999

1 - 3

Fuente: Risk management program guidance for offsite consequence analysis, EPA 550-B-99-009, Abril, 1999.

## ANEXO 4

### SIMULACIONES PARA 4 CIUDADES CON LOS PROGRAMAS ALOHA Y ARCHIE

## C L O R O

### DATOS PARA EL PROGRAMA ALOHA

#### LOCALIZACIÓN

Nombre de la localidad	Altitud (msnm)	Latitud (Coordenadas)	Longitud (Coordenadas)	Temperatura ambiente promedio(°C)
Coatzacoalcos	20	17° 59' 20''	94° 33' 31''	29.0
Monterrey	530	25° 40' 16''	100° 18' 30''	28.0
Guadalajara	1550	20° 40' 35''	103° 20' 46''	26.0
Distrito Federal	2240	19° 22' 15''	99° 02' 27''	24.0

Nota: Estos datos se utilizan en los dos programas ALOHA y ARCHIE para el Cloro y Amoniaco.

#### INFORMACIÓN ATMOSFÉRICA

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
<b>Velocidad del viento (m/s)</b>				
• Estabilidad "C"	2.8	2.8	2.8	2.8
• Estabilidad "D"	8.3	8.3	5.5	8.3
<b>Dirección del viento</b>	Norte	Norte	Norte	Norte
<b>Altura de inversión</b>				
• No Inversión	No	No	No	No
• Inversión presente				
<b>Humedad relativa (0 – 100 %)</b>	75	25	50	50
<b>Nubosidad</b>				
(0) Limpio -	7	5	5	5
(10) Completamente nublado				
<b>Temperatura ambiente (°C)</b>	29	28	26	24
<b>Rugosidad</b>	- Cd. abierta - Urbana	- Cd. abierta - Urbana	- Cd. abierta - Urbana	- Cd. abierta - Urbana
<b>Altura de medición del viento (m)</b>	3	3	3	3

#### INFORMACIÓN DE LA FUENTE

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
<b>Tipo de tanque</b>	Cilindrico horizontal	Cilindrico horizontal	Cilindrico horizontal	Cilindrico horizontal
<b>Diámetro del tanque (m)</b>	0.765	0.765	0.765	0.765
<b>Longitud del tanque (m)</b>	2.102	2.102	2.102	2.102
<b>Temperatura interna (°C)</b>	-15	-15	-15	-15
<b>Masa en el tanque (kg)</b>	907	907	907	907
<b>Diámetro del orificio (m)</b>	0.009525	0.009525	0.009525	0.009525
<b>Altura en la que se localiza del orificio (m)</b>	0.29	0.29	0.29	0.29
<b>Concentraciones de interés (ppm)</b>	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1	IDLH = 10 TLV <sub>8</sub> = 1

## RESULTADOS

### ESTABILIDAD “C”

Localidad	Cantidad liberada (kg)	Velocidad de liberación (kg/min)	Zona de riesgo (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de riesgo (m) Cd. Con edificios o con árboles	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Con edificios o con árboles	Tiempo de duración de la descarga (minutos)
Coatzacoalcos	242	87.6	1400	1200	3800	3400	19
Monterrey	248	89.6	1500	1200	3800	3400	25
Guadalajara	254	93.6	1500	1300	3800	3400	29
Distrito Federal	260	95.9	1500	1300	3700	3400	51

### ESTABILIDAD “D”

Localidad	Cantidad liberada (kg)	Velocidad de liberación (kg/min)	Zona de riesgo (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de riesgo (m) Cd. Con edificios o con arboles	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Con edificios o con arboles	Tiempo de duración de la descarga (minutos)
Coatzacoalcos	242	87.6	1100	922	3500	3100	19
Monterrey	248	89.6	1100	942	3800	3200	25
Guadalajara	254	93.6	1400	1200	4000	3500	29
Distrito Federal	260	95.9	1200	960	3900	3200	51

### DATOS PARA EL PROGRAMA ARCHIE

#### DATOS PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE EMISIÓN

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
<b>Punto normal de ebullición (°F)</b>	- 29.29	- 29.29	- 29.29	- 29.29
<b>Diámetro del orificio de descarga (in)</b>	0.375	0.375	0.375	0.375
<b>Coefficiente de descarga</b>	0.62	0.62	0.62	0.62
<b>Altura del líquido en el tanque (ft)</b>	1.24678	1.24678	1.24678	1.24678
<b>Temperatura ambiente (°F)</b>	84.2	82.4	78.8	75.2
<b>Presión de vapor en el tanque (psia)</b>	113.76	113.76	113.76	113.76
<b>Gravedad específica del líquido</b>	1.46	1.46	1.46	1.46

### DATOS PARA EL CÁLCULO DEL RADIO DE AFECTACIÓN

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
Peso molecular (lb/lb mol)	35.45	35.45	35.45	35.45
Límite de toxicidad del vapor	IDLH = 10 ppm TLV = 1 ppm	IDLH = 10ppm TLV = 1 ppm	IDLH = 10ppm TLV = 1 ppm	IDLH = 10ppm TLV = 1 ppm
Altura de la descarga (ft)	3	3	3	3
Estabilidad Atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>
Velocidad del viento (mph)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.18</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.18</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.18</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.18</li> </ul>
Temperatura ambiente (°F)	84.2	82.4	78.8	75.2
Velocidad de emisión (lb/min)	280.4	280.4	280.4	280.4
Duración de la emisión (min)	1.9	1.91	1.96	1.97

### RESULTADOS

Localidad	Cantidad liberada (kg)	Velocidad de liberación (kg/min)	Zona de riesgo (m) Estabilidad "c"	Zona de riesgo amortiguamiento (m) Estabilidad "c"	Zona de riesgo (m) Estabilidad "d"	Zona de riesgo amortiguamiento (m) Estabilidad "d"	Tiempo de duración de la descarga (minutos)
Coatzacoalcos	241	127.19	1444	3515	2433	7286	1.9
Monterrey	242	127.19	1444	3517	2430	7289	1.91
Guadalajara	248	127.19	1451	3540	2431	7339	1.96
Distrito Federal	250	127.19	1447	3540	2420	7320	1.97

## A M O N I A C O

### DATOS PARA EL PROGRAMA ALOHA

#### INFORMACIÓN ATMOSFÉRICA

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
Velocidad del viento (m/s)				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estabilidad "C"</li> <li>• Estabilidad "D"</li> </ul>	2.8 8.3	2.8 8.3	2.8 5.5	2.8 8.3
Dirección del viento	Norte	Norte	Norte	Norte
Altura de inversión				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No Inversión</li> <li>• Inversión presente</li> </ul>	No	No	No	No
Humedad relativa				
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (0 – 100 %)</li> </ul>	75	25	50	50
Nubosidad				
(0) Limpio - (10) Completamente nublado	7	5	5	5
Temperatura ambiente (°C)	29	28	26	24
Rugosidad				
	- Cd. abierta - Urbana	- Cd. abierta - Urbana	- Cd. abierta - Urbana	- Cd. abierta - Urbana
Altura de medición del viento (m)	3	3	3	3

### INFORMACIÓN DE LA FUENTE

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
Tipo de tanque	Cilíndrico horizontal	Cilíndrico horizontal	Cilíndrico horizontal	Cilíndrico horizontal
Diámetro del tanque (m)	0.58	0.58	0.58	0.58
Longitud del tanque (m)	4.42	4.42	4.42	4.42
Temperatura interna (°C)	24	24	24	24
Masa en el tanque (kg)	602	602	602	602
Diámetro del orificio (in)	0.5	0.5	0.5	0.5
Altura en la que se localiza del orificio (m)	0.29	0.29	0.29	0.29
Concentraciones de interés (ppm)	IDLH = 300 TLV <sub>8</sub> = 25	IDLH = 300 TLV <sub>8</sub> = 25	IDLH = 300 TLV <sub>8</sub> = 25	IDLH = 300 TLV <sub>8</sub> = 25

### RESULTADOS

#### ESTABILIDAD “C”

Localidad	Cantidad liberada (kg)	Velocidad de liberación (kg/min)	Zona de riesgo (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de riesgo (m) Cd. Con edificios o con arboles	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Con edificios o con arboles	Tiempo de duración de la descarga (minutos)
Coatzacoalcos	320	146	518	428	1900	1600	37
Monterrey	320	147	518	426	1900	1600	31
Guadalajara	320	148	635	522	2400	2000	28
Distrito Federal	324	148	517	426	1900	1600	38

#### ESTABILIDAD “D”

Localidad	Cantidad liberada (kg)	Velocidad de liberación (kg/min)	Zona de riesgo (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de riesgo (m) Cd. Con edificios o con arboles	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Despejada sin obstáculos	Zona de amortiguamiento (m) Cd. Con edificios o con arboles	Tiempo de duración de la descarga (minutos)
Coatzacoalcos	320	146	734	591	2600	2200	37
Monterrey	320	147	736	587	2600	2200	31
Guadalajara	320	148	736	586	2600	2200	28
Distrito Federal	324	148	736	589	2600	2200	38

## DATOS PARA EL PROGRAMA ARCHIE

### DATOS PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDAD DE EMISIÓN

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
Punto normal de ebullición (°F)	-28.12	-28.12	-28.12	-28.12
Diámetro del orificio de descarga (in)	0.5	0.5	0.5	0.5
Coefficiente de descarga	0.62	0.62	0.62	0.62
Altura del líquido en el tanque (ft)	0.9514	0.9514	0.9514	0.9514
Temperatura ambiente (°F)	84.2	82.4	78.8	75.2
Presión de vapor en el tanque (psia)	194.7	194.7	194.7	194.7
Gravedad específica del líquido	0.7	0.7	0.7	0.7

### DATOS PARA EL CÁLCULO DEL RADIO DE AFECTACIÓN

Localidad	Coatzacoalcos	Monterrey	Guadalajara	Distrito Federal
Peso molecular (lb/lb mol)	17.03	17.03	17.03	17.03
Límite de toxicidad del vapor	IDLH = 300ppm TLV <sub>8</sub> = 25 ppm	IDLH = 300ppm TLV <sub>8</sub> = 25 ppm	IDLH = 300ppm TLV <sub>8</sub> = 25 ppm	IDLH = 300ppm TLV <sub>8</sub> = 25 ppm
Altura de la descarga (ft)	3	3	3	3
Estabilidad Atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• C</li> <li>• D</li> </ul>
Velocidad del viento (mph)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.1846</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.1846</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.1846</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5.8</li> <li>• 11.1846</li> </ul>
Temperatura ambiente (°F)	84.2	82.4	78.8	75.2
Velocidad de emisión (lb/min)	433.5	433.5	433.5	433.5
Duración de la emisión (min)	1.62	1.64	1.65	1.65

## RESULTADOS

Localidad	Cantidad liberada (kg)	Velocidad de liberación (kg/min)	Zona de riesgo (m) Estabilidad "C"	Zona de riesgo amortiguamiento (m) Estabilidad "C"	Zona de riesgo (m) Estabilidad "D"	Zona de riesgo (m) amortiguamiento Estabilidad "D"	Tiempo de duración de la descarga (minutos)
Coatzacoalcos	241	196.63	518.77	649.53	1521.87	2682.85	1.62
Monterrey	242	196.63	518.16	648.31	1525.52	2656.20	1.64
Guadalajara	248	196.63	516.66	645.57	1524.61	2681.02	1.65
Distrito Federal	250	196.63	515.11	643.13	1520.65	2672.18	1.65

## ANEXO 5

### HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

#### HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD DEL AMONIACO

NOMBRE DE LA EMPRESA:	
FECHA DE ELABORACIÓN:	FECHA DE REVISIÓN:

#### SECCIÓN I: DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

1.- Nombre del fabricante:	2.- En caso de emergencia comunicarse a: Teléfono:		
	Fax:		
3.- Domicilio completo:			
Calle:	No. Exterior:	Colonia:	Código Postal:
Delegación/Municipio:	Localidad o Población:	Entidad Federativa:	

#### SECCIÓN II: DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

1.- Nombre comercial: Amoniacó Anhidro	2.- Nombre químico o código: Amoniacó
3.- Peso Molecular: 17.03 gr/gr.mol	4.- Familia Química: Aminas
5.- Sinónimos: Amoniacó Líquido/Amoniacó Gas	6.- Otros datos: Gas licuado bajo su propia presión de vapor a 20°C.

#### SECCIÓN III: IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES

1.- % y nombre de los componentes	2.- No. CAS	3.- No. ONU	4.- CPT, CCT O P Atm.	5.- IDLH/I PVS ppm	Salud	Inflamabilidad	Reactividad	Especial	E:P:P:
99.50 % de Amoniacó	766-41-7	1005	CPT. = 25 C.C.T. = 35	300	3	1	0	N.A.	
0.50 % Agua	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
10.0 ppm, Grasas y aceites	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.

#### SECCIÓN IV: PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

1.- Temperatura de ebullición: -33.4°C	2.- Temperatura de fusión: -77.7 °C
3.- Temperatura de inflamación (°C): N.A.	4.- Temperatura de auto ignición: 651.11°C
5.- Densidad relativa (agua = 1): 0.7 g/ml a -33°C	6.- Densidad de vapor (aire=1), a 0°C y 1 atm. de presión 0.597 g/l
7.- Peso molecular: 17.03 g/gmol	8.- Estado físico color y olor: Gas incoloro con un olor picante y sofocante
9.- Velocidad de evaporación (Butil-Acetato=1): N.D.	10.- Solubilidad en agua 54 g/100 ml a 20°C
11.- Presión de vapor: 1013 Kpa a 26°C, 760 mm de Hg a 25.7°C	12.- % de volatilidad N.A.
13.- Límites de inflamabilidad o explosividad, % en vol.	14.- Otros datos



Inferior: 15.0 Superior: 28.0 Nota: En espacios cerrados, los vapores de amoniaco dentro de los límites de inflamabilidad; pueden explotar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ pH = 11.6 (1.0N), 11.1 (0.1N)</li> <li>➤ Temperatura de congelación: -42.22°C</li> <li>➤ Umbral de percepción del olor = 1 a 53 ppm.</li> <li>➤ Densidad (líquido): 0.6818 a -33.35°C y 1 atm. de presión.</li> </ul>
---	--

### SECCIÓN V: RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN

1.- Medio de extinción: Utilice el adecuado, de acuerdo al fuego que rodee al producto					
Niebla de agua: <b>SI</b>	Espuma: <b>No Aplica</b>	Halon: <b>No aplica</b>	CO <sub>2</sub> : <b>SI</b>	Polvo químico seco : <b>SI</b>	Otros (especificar): <b>No Aplica</b>
2.- Equipo de protección personal: Traje integral contra incendio y equipo autónomo de respiración					
3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio: Se recomienda que para fuegos pequeños se utilicen extintores de polvo químico seco o CO <sub>2</sub> mientras que en el caso de incendios mayores se recomienda el uso de agua en forma de neblina (debido a que el Amoniaco es soluble en ella). Si el incendio fue causado por una fuga, ésta debe eliminarse primero.					
4.- Condiciones que conducen a otro riesgo especial: El Amoniaco puede provocar fuego o explosión en presencia de: Mercurio, halógenos, agua de cloro para blanquear, platino, cloronitrobenzeno y acetato de vinilo. En presencia de aceites u otros materiales combustibles, se incrementa el riesgo de incendio.					
5.- Productos de la combustión nocivos para la salud: Agua y óxidos de nitrógeno. <i>Nota: Al mezclar Oxido de Etileno y Disoluciones acuosas de Amoniaco, puede iniciarse violentamente una polimerización.</i>					

### SECCIÓN VI: DATOS DE REACTIVIDAD

1.- Sustancia: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estable: <b>Si</b></li> <li>• Inestable: <b>No aplica</b></li> </ul>
2.- Condiciones a evitar: Calor, flama; chispa o cualquier otra fuente de ignición.
3.- Incompatibilidad (sustancias a evitar): Oxidantes fuertes y ácidos, reaccionando violentamente con ellos en presencia de halógenos, óxido de mercurio, óxido de plata, pueden formarse compuestos sensibles al choque.
4.- Descomposición de componentes peligrosos: Nitrógeno e hidrógeno a temperaturas mayores a 450°C
5.- Polimerización peligrosa: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ocurrir: <b>No aplica</b></li> <li>• No puede ocurrir: <b>No aplica</b></li> </ul>
6.- Condiciones a evitar: <b>No aplica</b>

### SECCIÓN VII: RIESGOS PARA LA SALUD

VIAS DE ENTRADA	SINTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- Ingestión accidental	Por ser cáustico, tiene un efecto destructivo de los tejidos, produciendo nauseas, vómito y quemaduras en la boca, esófago, estómago e intestino delgado. Por otra parte en experimentos con conejillos de indias, se encontró que la administración de amonio provoca disfunción pulmonar y del sistema nervioso, generando aumento de la	No inducir el vómito, dar de beber agua: en niños de 0 a 1 año, 125 ml., niños de 1 a 12 años, 200 ml. y adultos, 250 ml., solo si la víctima se encuentra consciente. Repetir esa toma cada 10 minutos.

	respiración, dificultad de movimiento, hiperestabilidad al estímulo, convulsiones y coma.	
2.-Contacto con los ojos	Los irrita, tanto en forma gaseosa como en disolución, provocando dolor, conjuntivitis, lagrimeo e incluso erosión de la cornea, lo que puede generar pérdida de la vista, debido a que penetra rápidamente en el ojo. Esta irritación se presenta en concentraciones mayores a 20 mg/m <sup>3</sup> y generalmente es reversible. En estudios con ratas una concentración de 470 mg/m <sup>3</sup> por 90 días, produjo opacidad de la cornea en una tercera parte de la población, mientras que en el resto solo presentó irritación.	Lavarlos inmediatamente con agua corriente, asegurándose de abrir bien los párpados, por lo menos durante 15 minutos, asegurándose que el pH sea neutro.
3.- Contacto con la piel	Causa quemaduras y dolor y el contacto con el gas licuado causa congelación de la parte afectada. La piel se ve afectada a concentraciones aproximadamente de 7000 mg/m <sup>3</sup>	Lavar cuidadosamente con agua la zona contaminada y, si el producto ha mojado la ropa, quitarla inmediatamente. Si la piel ha sido congelada, lavar con agua a temperatura ambiente.
4.- Absorción	No Aplica	No Aplica
5.- Inhalación	Irrita y quema el tracto respiratorio produciendo laringitis, dificultad para respirar, tos y dolor de pecho. En casos graves produce edema pulmonar y neumonía, inclusive puede ser fatal. En casos extremos de exposición a concentraciones altas, se presentan daños severos a los pulmones y efectos cardiovasculares secundarios, coma y finalmente la muertes es instantánea.	Mover a la víctima a una zona bien ventilada. Si no respira, proporcionar respiración de boca a boca. Mantenerla bien abrigada y en reposo. Puede existir una congestión pulmonar, por lo que si está consiente sentarla.
6.- Sustancia química considerada como cancerígena (Según normatividad de la STPS y SSA):		
STPS: <b>SI</b>	SSA: <b>NO</b>	Otros: <b>Especificar</b>

#### SECCIÓN VIII: INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Como primera medida para atender una fuga o derrame de amoniaco, el personal involucrado invariablemente deberá usar de acuerdo a las condiciones de exposición: traje encapsulado o integral de neopreno y equipo autónomo de respiración. Solo personal debidamente protegido deberá permanecer en el área.

Si al derrame o a la fuga en fase gaseosa se puede acceder sin riesgo, detenerlo: usando agua en forma de niebla para reducir vapores, conteniendo el agua amoniacoal formada para su posterior disposición. Evite la flama, chispa o cualquier otra fuente de ignición.

En el caso de que se presenten fugas en carro tanques y auto tanques, éstos deberán ser trasladados a un área bien ventilada y alejada de las instalaciones y en caso de que la fuga no pueda controlarse, el producto deberá trasegarse, controlando la fuga durante el trasiego con la aplicación de agua en forma de niebla.

Si el derrame de amoniaco líquido se presenta en un conducto, si es factible; deberán de cerrarse las válvulas de corte que aíslan en el punto de fugas o derrame.

Si este último afecta al suelo, deberá contenerse mediante la formación de diques de tierra, sacos con arena o espuma de poliuretano. El líquido se absorbe con algún producto comercial para contener derrames.

Si el derrame es en el agua, neutralizar con ácido diluido. Si la concentración es de 10 ppm o mayor, se puede agregar 10 veces la cantidad derramada de carbón activado. Después sacar los residuos sólidos.

## SECCIÓN IX: EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

1.- Especificar tipo:

Según norma oficial mexicana **NOM-002-SCT-1993**

- Para piel y cuerpo: de acuerdo a las condiciones de exposición, use traje encapsulado, integral de neopreno o de policloropreno.
- Para vías respiratorias: durante exposiciones de hasta 100 ppm, use respirador equipado con filtro para amoníaco, para exposiciones entre 100 y 300 ppm, use máscara facial para gases con filtro para amoníaco y para concentraciones superiores a 300 ppm, use equipo autónomo de respiración.
- Protección a las manos: guantes de neopreno.
- Protección ocular: careta facial o monogoggles a prueba de salpicaduras químicas.

Nota: No usar lentes de contacto al trabajar con este producto.

## SECCIÓN X: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

1.- Debe estar de acuerdo con el reglamento para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos y con las normas que para el efecto se expidan.

Transporte terrestre: marcaje.- 1005, gas tóxico, de acuerdo a la Norma **NOM-002-SCT-1993**, el amoníaco anhidro líquido queda clasificado con el número 1005; correspondiente a la clasificación de naciones unidas y en la categoría 2 división 2.3, correspondiente a clase 2 (gases), riesgo 3 (tóxico por inhalación), en general el amoníaco anhidro líquido, se expande en grandes volúmenes, transportándose en buquetanques, carrotanques de ferrocarril, autotanques o amonioductos. En el caso de transporte por ferrocarril, los carrotanques aprobados para transportación de amoníaco anhidro líquido, deben cumplir con las especificaciones **DOT-105<sup>a</sup>-300-W, 106<sup>a</sup>500X, 112<sup>a</sup>340-W, 112<sup>a</sup>400-W Y 114<sup>a</sup>340-W.**

## SECCIÓN XI: INFORMACIÓN ECOLÓGICA (De acuerdo con reglamentaciones ecológicas)

Debe de estar de acuerdo a las reglamentaciones ecológicas

### **Medidas de seguridad con desechos:**

Neutralizar con ácido clorhídrico y diluir con abundante agua. El agua solubiliza el producto, no permitir que el agua saturada circule por los drenajes pluviales, pues ésta contaminará el ambiente aumentando la alcalinidad de los ríos, afectando la fauna marina.

### **Degradación del medio en caso de la atmósfera:**

El amoníaco persiste en ella en un lapso entre 5 y 10 días, dependiendo de la presencia de otros contaminantes atmosféricos así como la incidencia de la lluvia.

### **En el caso del agua:**

Cuando el amoníaco se derrama en ésta; tiende a ebullición violentamente y vaporiza parcialmente, al mismo tiempo de esto el amoníaco se dispersa por la superficie del agua, disolviéndose en ella para convertirse fácilmente en nitrato por nitrificación incrementando su peligrosidad para la vida acuática.

### **En el caso del suelo:**

El amoníaco se oxida fácilmente a nitrato por la presencia de microorganismos, facilitándose su movilidad y su absorción por las raíces de las plantas, por lo cual es importante el considerar que el amoníaco es un nutriente básico portador de nitrógeno, por lo cual se llega a utilizar mediante aplicación directa en el suelo en solución acuosa o en forma de sales.

## SECCIÓN XII: PRECAUCIONES ESPECIALES

### 1.- DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO

Si el amoníaco se almacena al aire libre, los recipientes deberán quedar situados por lo menos 15 metros de cualquier construcción. Las áreas de almacenamiento deben estar lejos de cualquier líquido inflamable, de productos químicos como oxígeno, halógenos y ácidos. La presencia de aceites u otros materiales combustibles, incrementa el riesgo de incendio.

### 2.- OTRAS PRECAUCIONES

Los contenedores que contengan amoníaco, no deberán ser manejados o almacenados cerca de instalaciones o equipos eléctricos vivos, tales como subestaciones, transformadores, cuartos de interruptores, motores, etc. El amoníaco en su almacenamiento, se puede juntar con materiales tóxicos o con productos inflamables; sin incremento del riesgo intrínseco de cada uno de ellos.

**3.- TABLA DE DISTANCIAS DE AISLAMIENTO INICIAL Y ACCIÓN PROTECTORA**

Derrames pequeños. (De un envase pequeño o de una fuga pequeña en un envase grande).

Primero aislar a la redonda 30 metros; luego, proteja a las personas en la dirección del viento durante el día 200 metros. Y durante la noche 200 metros.

Derrames grandes. (De un envase grande o de muchos envases pequeños)

Primero aislar a la redonda 60 metros, luego proteja a las personas en la dirección del viento durante el día 500 metros. Y durante la noche 1,100 metros.

## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DEL CLORO

NOMBRE DE LA EMPRESA:	
FECHA DE ELABORACIÓN:	FECHA DE REVISIÓN:

### SECCIÓN I: DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

1.- Nombre del fabricante:	2.- En caso de emergencia comunicarse a:		
	Teléfono:		
	Fax:		
3.- Domicilio completo:			
Calle:	No. Exterior:	Colonia:	Código Postal:
Delegación/Municipio:		Localidad o Población:	Entidad Federativa:

### SECCIÓN II: DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

1.- Nombre comercial: Cloro líquido	2.- Nombre químico o código: Cloro
3.- Peso Molecular: 70.906 gr./gr.mol	4.- Familia Química: Grupo VII A, Halógenos
5.- Sinónimos: Ninguno	6.- Otros datos: Cl <sub>2</sub>

### SECCIÓN III: IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES

Nombre del componente	% peso	No. ONU	No. CAS	CPT mg/m <sup>3</sup>	CCT mg/m <sup>3</sup>	P mg/m <sup>3</sup>	IPVS mg/m <sup>3</sup>	Grado de Riesgo	E.P.P
Cloro	99.5	1017	7782-50-5	3	9	9	30	Salud = 4 Incendio = 0 Reactividad = 0	SCBA, Traje Encapsulado

### SECCIÓN IV: PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

1.- Estado físico	Gas/Líquido	13.- Capacidad calorífica	0.473 KJ/KG °C
2.- Color	Amarillo verdoso/ámbar	14.- Densidad de vapor (aire = 1)	2.482 (0°C, 1 atm.)
3.- Olor	Picante, irritante, sofocante	15.- Densidad relativa (agua = 1)	1.468 (0°C)
4.- Temperatura de ebullición	-34.05°C a 1 atm.	16.- Densidad del gas seco	3.209 gr/cc (0°C, 1 atm)
5.- Temperatura de fusión	-101.00°C a 1 atm.	17.- Densidad del líquido	1.468 gr/cc (0°C, 1 atm)
6.- Temperatura de inflamación	El cloro es un material no inflamable en el aire pero mantiene la combustión. Forma mezclas explosivas con el hidrógeno y otros gases inflamables.	18.- Relación gas/líquido	463.8 litros (0°C, 1 atm)
7.- Temperatura de autoignición		19.- Coeficiente de expansión	21.9 %
8.- L.S. Inflamabilidad- Explosividad		20.- Solubilidad en agua	7.1 gr/l (20°C, 1 atm)
9.- L.I. Inflamabilidad- Explosividad		21.- Presión de vapor	6.62 atm (25°C)

10.- Calor de combustión		22.- % de volatilidad (Por volumen)	100%
11.-Calor de vaporización	68.8 cal/gr (-34.05°C, a 1 atm)	23.-Velocidad de evaporación (butilacetato = 1)	No determinado
12.- Calor de fusión	22.8 cal/gr	24.- Temperatura de descomposición	No aplica

### SECCIÓN V: RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN

1.- Medio de extinción: Utilice el adecuado, de acuerdo al fuego que rodee al producto					
Niebla de agua: <b>NO</b>	Espuma: <b>SI</b>	Halon: <b>No aplica</b>	CO <sub>2</sub> : <b>SI</b>	Polvo químico seco : <b>SI</b>	Otros (especificar): <b>Ninguna</b>
2.- Equipo de protección personal: Los bomberos deben de usar equipos de respiración autónomos (SCBA) y traje encapsulado de nylon recubierto con butilo, tyvek o materiales con resistencia química al cloro.					
3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio: Aísle de 100 a 200 metros para recipientes de 68 kg de cloro y de 800 metros en todas direcciones si un carro tanque o plataforma con contenedores se ve involucrada en un incendio. Aléjese si las válvulas de seguridad abren o si se presentan ruidos, deformaciones o decoloración en los recipientes. Evalúe los riesgos y haga su plan de ataque. Muchos metales arden en presencia de cloro (ejemplo el acero a 252°C (485°F). Retire los recipientes del fuego si es posible o enfriarlos con agua siempre y cuando no exista fuga de cloro. Use sólo niebla de agua para evitar la dispersión rápida del cloro en el aire.					
4.- Condiciones que conducen a otro riesgo especial: Nunca usar agua cuando el recipiente ya sea cilíndrico, contenedor o carro tanque esté fugando cloro. En este caso utilice el equipo de control de fugas específico para cada recipiente de acuerdo a su entrenamiento recibido. Puede usar agua solo para control del fuego alrededor de recipientes con cloro.					
5.- Productos de la combustión tóxicos o nocivos para la salud: Ninguno, el cloro no se descompone; puede reaccionar con los gases de combustión de las sustancias químicas involucradas en un incendio, el cloro es un oxidante muy fuerte.					

### SECCIÓN VI: DATOS DE REACTIVIDAD

1.- Sustancia: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Estable: <b>NO</b></li> <li>• Inestable: <b>SI</b></li> <li>• Extremadamente inestable: <b>NO</b></li> </ul>
2.- Condiciones a evitar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• No almacene ni transporte cloro con sustancias incompatibles.</li> <li>• El cloro seco es muy reactivo con metales como titanio, estaño y otros sobre todo si están en polvo y calientes.</li> <li>• Almacene los cilindros y contenedores en lugar fresco, ventilado y bajo techo, libre de humedad y alejados de fuentes de calor.</li> <li>• Recuerde que el cloro es altamente reactivo y más en presencia de humedad (agua).</li> </ul>
3.- Incompatibilidad (Sustancias a evitar): Reacciona violentamente generando calor, fuego o explosión con las siguientes sustancias químicas: Turpentina, éter, amoníaco gas, hidrocarburos, hidrógeno, metales en polvo y calientes, polidimetilsiloxano, propileno, polipropileno, etileno, acetileno, óxido de etileno, grasas minerales, ácido sulfámico, As <sub>2</sub> (CH <sub>3</sub> ) <sub>4</sub> , UC <sub>2</sub> , acetaldehído, alcoholes, sales de alquil-isotiourea, alquil-fosfinos, Al, Sb, As, AsS <sub>2</sub> , AsH <sub>3</sub> , Ba <sub>3</sub> P <sub>2</sub> , C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> , Bi, B, BPl <sub>2</sub> , B <sub>2</sub> S <sub>3</sub> , latón, BrF <sub>5</sub> , Ca, CaC <sub>2</sub> +KOH, Ca(ClO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , Ca <sub>3</sub> N <sub>2</sub> , CaN <sub>2</sub> , Ca <sub>3</sub> P <sub>2</sub> , C, CS <sub>2</sub> , Cs, CsHC <sub>2</sub> , Co <sub>2</sub> O, Cs <sub>3</sub> N, C+Cr(ClO) <sub>2</sub> , Cu, CuH <sub>2</sub> , CuC <sub>2</sub> , dialquilfosfinos, diborano, dibutilftalato, Zn (C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> ) <sub>2</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , etilenimina, C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> PH <sub>2</sub> , F <sub>2</sub> , Ge, glicerol, (NH <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O+KOH, I <sub>2</sub> , hidroxilamina, Fe, FeC <sub>2</sub> , Li, Li <sub>2</sub> C <sub>2</sub> , Li <sub>6</sub> C <sub>2</sub> , Mg, Mg <sub>2</sub> P <sub>3</sub> , Mn, Mn <sub>3</sub> P <sub>2</sub> , HgO, HgS, Hg, Hg <sub>3</sub> P <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , Nb, NI <sub>3</sub> , OF <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> SiO, OF <sub>2</sub> +Cu, PH <sub>3</sub> , P, P(SNC) <sub>3</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , PCB's, K, KHC <sub>2</sub> , KH, Ru, RuHC <sub>2</sub> , Si, SiH <sub>2</sub> , Ag <sub>2</sub> O, Na, NaHC <sub>2</sub> , Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> , SnF <sub>2</sub> , SbH <sub>3</sub> , Sr <sub>3</sub> P, Te, Th, Sn, WO <sub>2</sub> , U, V, Zn, ZrC <sub>2</sub> .
4.- Productos peligrosos de la descomposición:

El cloro es un elemento químico, no se descompone
5.- Polimerización espontánea: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ocurrir No Aplica</li> <li>• Condiciones a evitar: No almacene cloro con sustancias incompatibles</li> </ul>

## SECCIÓN VII: RIESGOS PARA LA SALUD (TOXICIDAD)

VII.1 EFECTOS LA SALUD POR EXPOSICIÓN AGUDA			
Límite de exposición	ppm	mg/m <sup>3</sup>	Tipos de organismos que se sometieron a la exposición del agente químico
LMPE ó TLV: CPT ó TWA	1	3	Exposición promedio ponderada en 8 horas de trabajo para humanos sin efectos adversos a la salud.
LMPE ó TLV: CCT ó STEL	3	9	Exposición única a corto tiempo (15 min.) en 8 horas de trabajo para humanos, sin efectos adversos.
LPME ó TLV: P ó C	3	9	Exposición única e instantánea que no se debe rebasar para humanos en sus 8 horas de trabajo.
IPVS ó IDLH: CT <sub>Baja</sub> ó TC <sub>LO</sub>	10	30	Concentración tóxica baja por inhalación reportada para humanos en una hora de exposición, valor no bien establecido, algunas bibliografías reportan 20 y hasta 25 ppm.
IPVS ó IDLH: DT <sub>Baja</sub> ó TD <sub>LO</sub>			Concentración tóxica baja por inhalación reportada para humanos en una hora de exposición, valor no bien establecido, algunas bibliografías reportan 20 y hasta 25 ppm.
LC <sub>LO INNL</sub>	430	1,247	Concentración letal baja por inhalación reportada para humanos en 30 minutos de exposición.
LD <sub>LO</sub>			
LC <sub>50 INHL</sub>	293	849	Concentración letal por inhalación reportada para el 50% de las ratas en una hora de exposición.
LD <sub>50</sub>			
Rutas potenciales de ingreso al organismo			
A. INHALACIÓN: Es la vía principal de exposición. El cloro es un irritante de las vías respiratorias muy agresivo ya que forma ácido clorhídrico y ácido hipocloroso en presencia de humedad de las mucosas. Concentraciones en el aire de 0.014 a 0.097 ppm causa cosquilleo en la nariz y garganta, de 0.1 a 0.3 ppm causa comezón y sequedad de nariz y garganta, de 0.35 a 0.72 ppm causa quemadura de la conjuntiva y dolor después de 15 min, arriba de 1.0 ppm causa irritación ocular y respiratoria con tos, respiración corta y dolor de cabeza, de 1 a 3 ppm causa irritación de las membranas mucosas medias. Con 10 ppm se puede causar severa irritación del tracto respiratorio alto y los ojos. Con 15 ppm se puede causar tos muy intensa. Con 30 ppm causa dolor de pecho intenso, disnea, tos muy intensa y vómito, con 46 a 60 ppm causa neumonía química y edema pulmonar, con 430 ppm es fatal después de 30 min, con 1,000 ppm es letal (paro respiratorio y la muerte) en pocos segundos. Si alguien sobrevive a una exposición aguda a cloro, usualmente se recupera sin secuelas.			
B. INGESTIÓN: A temperatura y presión ambiente el cloro es un gas. La ingestión de cloro líquido es poco probable, pero si llegara a ocurrir puede causar quemaduras severas en la boca, esófago y estómago, pudiendo ocurrir náuseas, dolor y vómito.			
C. OJOS (contacto): El contacto con el cloro líquido puede ocasionar quemaduras químicas severas. El contacto con cloro gas puede ocasionar irritación, enrojecimiento, fuerte lagrimeo o quemaduras.			
D. PIEL (contacto y absorción): El contacto con el cloro líquido puede ocasionar quemaduras químicas severas y ampollas. El contacto con cloro gas puede ocasionar irritación, depilación o quemaduras.			
VII.2 EFECTOS A LA SALUD POR EXPOSICIÓN CRÓNICA			
Sustancia considerada como: Cancerígena: <b>NO</b> Teratogénica: <b>NO</b> Mutagénica: <b>NO</b> Otro: <b>Tóxica, irritante, corrosiva</b> Por la dependencia u organismo: STPS (NOM-010-STPS-1999): <b>NO</b> OSHA: <b>NO</b> NIOSH: <b>NO</b> ACGIH: <b>NO</b> OTRO: <b>EPA</b>			
VII.3 INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA			
La exposición prolongada a concentraciones bajas de cloro puede agravar problemas de asma, enfisema,			

bronquitis crónica, tuberculosis, baja en la capacidad pulmonar, daño crónico a la garganta, corrosión de dientes y senos nasales así como dermatitis crónica. No clasificado como Cancerígeno Humano (A4) ya que los datos son insuficientes para clasificar al cloro en términos de su carcinogenicidad en humanos y animales. El límite de exposición al cloro establecido por OSHA (PEL), ACGIH (TLV), NIOSH (REL) y DFG (MAK) es de 0.5 ppm ó 1.5 mg/m<sup>3</sup>. La LC<sub>50 inhl</sub> en ratas es de 293 ppm y 137 ppm en ratones en 1 hora. La LC<sub>LO</sub> para puercos de guinea es de 330 ppm en 7 horas, 660 ppm para conejos y gatos en 4 horas. Los órganos blancos para toxicidad aguda y crónica en humanos es el tracto respiratorio y sangre, y en animales es el sistema inmunológico, sangre, sistema cardiovascular y tracto respiratorio. No se han observado efectos adversos en humanos ingiriendo agua con cloro a concentraciones de 50 a 90 ppm (1.4 a 2.6 mg/kg/día). La EPA establece para una dosis experimental en humanos de 14.4 mg/kg/día una RfD de 0.1 mg/kg/día.

#### VII.4 EMERGENCIAS Y PRIMEROS AUXILIOS

A. INHALACIÓN: Retire a la víctima del área contaminada. Si ha cesado la respiración suministrar respiración artificial. Si respira con dificultad suministre oxígeno húmedo. Mantenga a la víctima en reposo. Consulte a un médico de inmediato.

B. INGESTIÓN: Si la persona está consiente dé a beber agua fría de 228.6 ml (8 onzas) para adultos y 114.3 (4 onzas) para niños. No induzca el vómito, pero si éste ocurre lave y dé a beber más agua. Mantenga a la víctima en reposo y caliente. Consulte a un médico de inmediato.

C. OJOS (contacto): Lávese con abundante agua corriente al menos durante 30 minutos ocasionalmente girando el globo ocular y abriendo y cerrando los párpados con el objeto de lavar perfectamente toda la superficie del ojo. Consulte a un médico de inmediato.

D. PIEL (contacto y absorción): Retire la ropa contaminada bajo la regadera, lávese con abundante agua al menos durante 30 minutos. No use aceites, cremas o líquidos neutralizantes. Consulte a su médico de inmediato.

E. OTROS RIESGOS A LA SALUD: La toxicidad del cloro es aguda no crónica. Sustancia altamente corrosiva para las mucosas.

F. ANTIDOTO (dosis en caso de existir): NO se conoce antídoto.

G. INFORMACIÓN PARA ATENCIÓN MÉDICA PRIMARIA: Evaluaciones médicas deben ser hechas al personal a partir de cuando presentan signos o síntomas de irritación de piel, ojos o tracto respiratorio alto. Cada emergencia médica es única dependiendo del grado de exposición al cloro, pero algunos tratamientos médicos exitosos fueron los siguientes: mantenga a la víctima en reposo y abrigada. Suministre oxígeno húmedo a una presión inferior a 4 cm de columna de agua o 10 a 15 litros por minuto. Considere el suministro de sedantes en caso de ansiedad y falta de reposo, así como el uso de corticoesteroides en aerosol, beta adrenérgicos y broncodilatadores para broncoespasmos, expectorantes y antibióticos para el edema y bronconeumonía. Vigile de cerca el desarrollo de edema y bronconeumonía después de una exposición severa al cloro.

#### SECCIÓN VIII: PROTECCIÓN PERSONAL EN CASO DE EMERGENCIAS

A. PROTECCIÓN RESPIRATORIA: De 1 a 10 ppm usar respirador con cartuchos para gases y vapores ácidos (cubre nariz y boca), de 11 a 25 ppm usar respirador con careta facial con cartucho tipo canister (cubre cara, nariz, boca y ojos), de 26 ppm o más usar un equipo de respiración autónomo de aire comprimido con regulador de presión a demanda (SCBA). Para derrames de cloro líquido use además de lo anterior equipo encapsulado tipo responder. De preferencia use equipo autorizado por normas oficiales mexicanas o la NIOSH/OSHA.

B. PROTECCIÓN PARA LA PIEL: Utilice guantes recubiertos de clorobutilo o neopreno durante las operaciones diarias. Traje encapsulado tipo responder para derrames de cloro líquido.

C. PROTECCIÓN PARA LOS OJOS: Utilice goggles o careta durante las operaciones de conexión y desconexión de tuberías o al operar válvulas.

D. HIGIENE: Evite el contacto con la piel o los ojos así como respirar los vapores. No comer, beber o fumar en las áreas de trabajo. Lavarse las manos antes de comer, beber o ir al baño.

E. VENTILACIÓN: La necesaria para mantener la concentración de cloro en el ambiente menor a 1.0 ppm. Sistema de ventilación directo al exterior e independiente colocado en las partes bajas de los edificios (recuerde que el cloro es 2.5 veces más pesado que el aire).

F. OTRAS MEDIDAS DE CONTROL Y PROTECCIÓN: Para determinar el nivel de exposición de los trabajadores debe efectuarse un monitoreo regular y periódico de acuerdo a la Norma **NOM-010-STPS-1999**



y Método de Análisis 24 de la misma norma o método **NIOSH 6011**. Se recomienda realizar las siguientes pruebas médicas a los trabajadores expuestos: rayos X de pecho, aire expirado y pruebas de funcionalidad pulmonar.

#### **SECCIÓN IX: INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME**

- Mantenga y conserve siempre la calma: identifique de inmediato qué recipiente está fugando cloro y por dónde. Evalúe la magnitud del problema.
- Para derrames de cloro líquido o gas utilice un traje protector de una pieza (de preferencia encapsulado) fabricado en nylon recubierto con butilo o tyvek, así como un equipo de respiración autónomo de aire con presión a demanda (SCBA).
- Evacué las personas cercanas y ponga su señalización de emergencia. Si hay la intervención de bomberos, protección civil, policía de tránsito o caminos u otro organismo gubernamental, explíqueles los riesgos del cloro para que tomen las medidas de protección pertinentes.
- Reporte el accidente a su patrón, distribuidor, línea de transporte, destinatario o fabricante. Use cualquier medio de comunicación.
- Trate de controlar el derrame proveniente del contenedor: cierre válvulas, tapone orificios, reacomode el contenedor, trasvase el recipiente, etc. procure que la fuga de cloro sea en forma de gas, para lo cual gire el cilindro o contenedor. Coloque el equipo de emergencias para control de fugas de acuerdo al tipo de recipiente de que se trate: cilindros, contenedores o carrostanque. Estos equipos son los conocidos como kit a, b o c respectivamente.
- Si la fuga se presenta en unidades de transporte permanezca en movimiento de ser posible hasta llegar a un lugar seguro, alejado de zonas habitacionales, escuelas, hospitales, comercios, etc. trate de corregir la fuga pero si ésta persiste, el cloro se dispersará en la atmósfera sin causar mayores daños.
- Use niebla de agua sobre los vapores de cloro para minimizar su rápida dispersión en la atmósfera, no la aplique directamente sobre el cloro líquido o el punto de fuga en el recipiente debido a que la emisión se hará más grande.

#### **SECCIÓN X: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN**

- **PRECAUCIONES PARA TRANSPORTE:** Use solo unidades autorizadas para el transporte de materiales peligrosos que cumplan con la regulación de la SCT y demás autoridades federales así como con las sugerencias hechas por el fabricante. En el caso de emergencias en transportación consulte la Hoja de Emergencias en Transportación (HET) y la Guía Norteamericana de Respuestas en Caso de Emergencia No. 124, llame al SETIQ día y noche al TEL. (01)800 00-214-00, en el DF. al 01 (55) 5559-1588, CENACOM (01) 800 00-413-00 y en el DF. al 01 (55) 5550-1552, 5550.
- **CLASIFICACIÓN SCT ó DOT:**  
Descripción: Cloro, gas licuado a presión y temperatura.  
Clasificación: Gas tóxico, venenoso ó Cloro (opcional), Clase 2, División 3

#### **SECCIÓN XI: INFORMACIÓN ECOLÓGICA (De acuerdo con reglamentaciones ecológicas)**

- **AIRE:** No hay suficiente evidencia del impacto ambiental del cloro como tal en el aire (atmósfera), no así de los derivados clorados como los freones que destruyen la capa de ozono, etc.
- **AGUA:** El cloro se hidroliza rápidamente en el agua formando ácido hipocloroso y ácido clorhídrico. El cloro libre ( $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HClO}$  y  $\text{ClO}^-$ ) reacciona rápidamente con compuestos orgánicos presentes sobre todo en aguas residuales, esta reacción produce cloruros, compuestos orgánicos oxidados tales como cloraminas, trihalometanos, oxígeno, nitrógeno, cloratos, bromatos y bromo-orgánicos. Concentraciones de hasta 0.05-0.15 mg/litro provocan cambios significantes en la composición de especies del fitoplacton marino.
- **AGUA PARA BEBER:** El cloro gas o sales de hipoclorito añadido al agua potable destruye todo microorganismo en 20 minutos a concentraciones de 0.03 a 0.06 mg/litro a rangos de pH de 7.0 a 8.5 y temperaturas de 4 a 20° C. Las redes de suministro de agua potable aplican cloro a concentraciones de 1 a 29.7 mg/litro para mantener niveles de cloro residual de 0.2 a 6 mg/litro, sin

que se haya observado efectos adversos en la salud humana. El agua para beber se vuelve de mal sabor a concentraciones de cloro arriba de 25 ppm.

- SUELO: El cloro reacciona con todos los componentes químicos del suelo formando cloruros que dependiendo de su solubilidad, son fácilmente lavados con agua. Un derrame de cloro líquido pudiera congelar temporalmente la zona de suelo afectado.
- FLORA Y FAUNA: El cloro es altamente tóxico para los seres vivos (plantas y animales), sobre todo para los de medio acuático, (peces y microorganismos). La TLm en pasto es de 0.22 mg/litro en 96 horas y en fitoplacton de 0.14 mg/litro en 24 horas. La toxicidad aguda en plantas se manifiesta por amarillamiento y defoliación. No existe potencialidad de factores de bioacumulación o bioconcentración.
- Al controlar una emisión de cloro posiblemente sea necesario desgasar o despresurizar los recipientes, por lo que el cloro deberá ser burbujeado a una solución de hidróxido de sodio, carbonato de sodio o hidróxido de calcio (cal). No aplique estos materiales en forma directa sobre un derrame de cloro líquido ya que la reacción se vuelve muy violenta y exotérmica.
- Los residuos de la absorción del cloro no neutralizados clasifíquelos de acuerdo al análisis CRETIB.
- Su manejo y disposición final debe ser acorde a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos, las Normas Oficiales Mexicanas NOM-052-ECOL/93 y NOM-053-ECOL/93, demás ordenamientos técnicos legales federales, estatales o municipales aplicables.

## **SECCIÓN XII: PRECAUCIONES ESPECIALES DE MANEJO Y ALMACENAMIENTO**

- A) Evite las emisiones de cloro en todo momento. En caso que se requiera desgasar un recipiente, se recomienda instalar un sistema de absorción.
- A) Use el equipo de protección personal recomendado y tenga disponible regadera y lavajos de emergencia en el área de almacenamiento.
- A) El área de almacenamiento debe estar bajo techo, bien ventilada (ventilas al nivel de piso), libre de humedad y alejada de fuentes de calor.
- A) Coloque la señalización de riesgo de acuerdo a la normatividad aplicable tales como: etiquetas, rombos o señalamientos de advertencia.
- A) No estibar los contenedores (encimarlos), asegurar los cilindros en canastillas o jaulas, colocar los capuchones protectores de las válvulas, etc.
- A) Inspeccione periódicamente los recipientes para detectar daños y prevenir fugas usando una antorcha impregnada con solución de amoníaco formándose en el ambiente una niebla blanca de cloruro de amonio.
- A) Las tuberías y los equipos para el manejo de cloro deben limpiarse de materia orgánica, polvo, humedad, grasas minerales, etc., antes de usarse.
- A) Las tuberías de cloro líquido deben de disponer de cámaras de expansión debido a su alto coeficiente de expansión.
- A) Evite almacenar otros productos químicos incompatibles junto al cloro ya que pudieran reaccionar violentamente.

## HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE GAS LICUADO DE PETRÓLEO

NOMBRE DE LA EMPRESA:	
FECHA DE ELABORACIÓN:	FECHA DE REVISIÓN:

### SECCIÓN I: DATOS GENERALES DEL RESPONSABLE DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

1.- Nombre del fabricante o importador:	2.- En caso de emergencia comunicarse a: Teléfono:		
	Fax:		
3.- Domicilio completo:			
Calle:	No. Exterior:	Colonia:	Código Postal:
Delegación/Municipio:	Localidad o Población:	Entidad Federativa:	

### SECCIÓN II: DATOS GENERALES DE LA SUSTANCIA QUÍMICA

1.- Nombre comercial: Gas Licuado de Petróleo (Gas L.P.)	2.- Nombre químico o código: Gas Licuado de Petróleo (Gas L.P.)
3.- Peso Molecular: Butano: 58 gr./gr.mol Propano: 44 gr./gr.mol	4.- Familia Química: Hidrocarburos - Alcanos
5.- Sinónimos: No aplica	6.- Otros datos: No aplica

### SECCIÓN III: IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPONENTES

1.- % y nombre de los componentes: 70% Butano 30% Propano	2.- No. CAS: Butano: 106-97-08 Propano: 70-98-6	3.- No. de la ONU: Propano: TX2275000	4.- Cancerígenos o teratogénicos  No Disponible
5.- Límite Máximo Permissible de Concentración  No aplica	6.- IDLH/IPVS (ppm)  Butano: N/D Propano: 20000	7.- Grado de Riesgo  <b>S I R</b> 2 4 0	7.1 Salud 7.2 Inflamabilidad 8.4 % Lim. Sup. 7.3 Reactividad

### SECCIÓN IV: PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

1.- Temperatura de ebullición: Butano: -0.6 °C propano: -41.1 °C	2.- Temperatura de fusión: Butano: -145 °C Propano: -188 °C
3.- Temperatura de inflamación (°C): Butano: -74 °C Propano: -156 °C	4.- Temperatura de auto ignición: Butano: 430 °C Propano: 450 °C
5.- Densidad relativa Sólidos y líquidos (agua = 1 a 4°C): 0.415-0.45 a 162°C Gases y vapores (aire= 1 a C.N.) Butano: 2.0665 Propano: 1.522	6.- Densidad relativa de vapor (aire=1), a 0°C y 1 atm. de presión 2.0894 (aire=1)
7.- Peso molecular:  Butano: 58 g/gmol Propano: 44 g/gmol	8.- Estado físico color y olor: Gas licuado, incoloro, de olor irritante (el gas l.p. es inodoro y para proveerlo de su olor característico a huevo podrido o materia orgánica en descomposición, se odora con Mercaptano a razón de 1 litro/10,000 lts. de gas), estado físico gas.
9.- Velocidad de evaporación (Butil-Acetato=1): No disponible	10.- Solubilidad en agua (g/100 ml.). No es soluble en el agua
11.- Presión de vapor (760 mmHg a 25.7°C):	12.- Porcentaje de volatilidad

Butano: 1016 mmHg Propano: 6410 mmHg	100% de volatilidad
13.- Límites de inflamabilidad (% en Vol.) Inferior: 1.9 Superior: 8.4	14.- Otros datos Reactividad con el agua: No es reactivo en presencia de agua

### SECCIÓN V: RIESGOS DE FUEGO O EXPLOSIÓN

1.- Medio de extinción: Utilice el adecuado, de acuerdo al fuego que rodee al producto					
Niebla de agua: <b>No Aplica</b>	Espuma: <b>No Aplica</b>	Halon: <b>No aplica</b>	CO <sub>2</sub> : <b>No Aplica</b>	Polvo químico seco : <b>SI</b>	Otros (especificar): <b>No Aplica</b>
2.- Equipo de protección personal:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Trajes de asbesto o amianto para combate de incendios completos (casco con protector facial, pantalón y chaquetón, guantes, botas y cubebotas).</li> <li>- Pares de guantes de neopreno.</li> <li>- Lentes de seguridad.</li> <li>- Cascos de aluminio.</li> </ul> <p>Sistema de seguridad requerido para situaciones extraordinarias, como el necesario para la operación normal de la planta (guantes de carza, ropa de algodón, zapatos de seguridad, extinguidotes, sistema contra incendio, sistema de aspersión, alarmas sectoriales, etc.) deberá tenerse siempre en condiciones de operación y dentro de las fechas de caducidad recomendadas por los fabricantes de los mismos.</p>					
3.- Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendio:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hacer sonar la alarma.</li> <li>- Cerrar todas las válvulas que pueda.</li> <li>- Llamar al cuerpo de bomberos.</li> <li>- Alejar rápidamente del lugar del incendio vehículos y recipientes que contengan Gas L.P.</li> <li>- Todo el personal que no sepa y no esté entrenado para atacar el fuego, deberá permanecer fuera de la zona de peligro.</li> <li>- Si el fuego no ataca a recipientes, transportes o carros y no se puede contener el escape de gas cerrando válvulas, éste no debe apagarse ya que continuará la fuga y creará una problemática mayor.</li> <li>- Interrumpir corriente eléctrica, excepto las necesarias para accionar la bomba de agua contra incendio.</li> <li>- Rociar primeramente de agua contra incendio. Tipo llovizna a los recipientes para enfriarlos y luego con chorro directo, esta operación se llevará a cabo por los costados del tanque, nunca por los extremos del mismo.</li> <li>- Ataque el fuego desde la base y siempre a favor del viento.</li> <li>- Acerque y utilice todos los extintores de la planta incluyendo los de los vehículos.</li> <li>- Solo una persona dirigirá y otra persona realizará las maniobras.</li> <li>- Si no llegan los bomberos y no se puede controlar el fuego y corre riesgo de explosión, aléjese del lugar dando la voz de alarma.</li> <li>- Aleje a todas las personas que permanezcan en el área de peligro.</li> </ul>					
4.- Condiciones que conducen a un peligro de fuego y explosión no usuales:					
Eventos naturales: Huracán o terremoto					
Error humano extremo: Choque de avión o vehículo					
Accidente interno: Fuga accidental de grandes proporciones y contacto con flama o chispa, contacto con oxidantes.					
5.- Productos de la combustión:					
En el caso de ignición de la sustancia se tendrían los siguientes productos de combustión:					
	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub>		
Kg./ft3 Combustible	4.00	5.00	24.47		
Kg./Kg. de Combustible	3.03	1.55	11.91		

### SECCIÓN VI: DATOS DE REACTIVIDAD

1.- Sustancia:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estable: Bajo condiciones de temperatura y presión de almacenamiento.</li> <li>• Inestable: Al mezclarse con aire</li> </ul>
2.- Condiciones a evitar:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evite el contacto con fuego o chispa</li> <li>• Evítese la fuga incontrolada que formen nubes de gas</li> </ul>
3.- Incompatibilidad (sustancias a evitar):
Oxidantes fuertes, cloruro y sales de cobalto y níquel.
4.- Descomposición de componentes peligrosos:
Solo se da en caso de proceso de combustión generándose CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O y N <sub>2</sub>
5.- Polimerización peligrosa:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Puede ocurrir <b>No Aplica</b></li> <li>• No puede ocurrir <b>No Aplica</b></li> </ul>
6.- Condiciones a evitar: <b>No Aplica</b>

### SECCIÓN VII: RIESGOS PARA LA SALUD

VIAS DE ENTRADA	SINTOMAS DEL LESIONADO	PRIMEROS AUXILIOS
1.- Ingestión accidental	Poco probable por su estado gaseoso	Trasladar a la víctima a donde se respire aire fresco y llamar a los servicios médicos de emergencias. Aplicar respiración artificial si la víctima no respira, y oxígeno si respira con dificultad en caso de quemadura por congelación, descongele las partes con agua.
2.- Contacto con los ojos	Puede causar irritación	Lavar con agua abundante
3.- Contacto con la piel	Al hacer contacto con la piel el Gas L.P. puede causar graves quemaduras físicas debido a su rápida evaporación y a la consiguiente disminución de la temperatura.	En caso de quemadura por congelación, descongele las partes con agua.
4.- Absorción	No presenta riesgo	No presenta riesgo
5.- Inhalación	En concentraciones muy elevadas, cuando está mezclado con aire, el vapor de gas es anestésico y posteriormente asfixiante al diluirse el oxígeno disponible.	Trasladar a la víctima a donde se respire aire fresco y llamar a los servicios médicos de emergencias. Aplicar respiración artificial si la víctima no respira, y oxígeno si respira con dificultad en caso de quemadura por congelación, descongele las partes con agua.
6.- Sustancia química considerada como cancerígena (Según normatividad de la STPS y SSA):		
STPS: <b>NO</b>	SSA: <b>NO</b>	Otros: <b>Especificar</b>

### SECCIÓN VIII: INDICACIONES EN CASO DE FUGA O DERRAME

Detener la fuga de gas en cualquier caso (fuego o no) es el principal objetivo en el caso de un siniestro (con excepción de una sobre presurización del recipiente). Si la válvula que corta el gas está envuelta en llamas, debe protegerse a las personas que tratan de cerrarlas con ropa especial y cubrirla con brisa de agua, la brigada contra incendio deberá contar con el equipo y adiestramiento requerido, supervisado debidamente por el cuerpo municipal de bomberos.

Para abatir el riesgo que producirán las fugas de gas l.p., a continuación se describen las siguientes medidas de seguridad:

- En caso de un incendio dentro de las instalaciones se usarán extintores de polvo químico seco e hidratantes de niebla de agua.
- Exceptuando ciertas condiciones, nunca debe extinguirse el fuego hasta que no sea controlada la fuga de gas.
- Cuando el escape de gas esté prendido se deberán aplicar grandes cantidades de agua a las superficies expuestas.
- Como precaución debe de acercarse a los recipientes por los lados, nunca por las cabezas.
- El agua debe mantenerse en forma de brisa.
- En incendio de pequeñas cantidades de gas l.p., el polvo seco es muy efectivo, éstos deben ser dirigidos directamente a la base del fuego o en su defecto al punto donde los vapores del gas l.p. descarguen.

### SECCIÓN IX: EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL

1.- Especificar tipo:  
Según Norma Oficial Mexicana “**NOM-017-STPS-1994**”

### SECCIÓN X: INFORMACIÓN SOBRE TRANSPORTACIÓN

De acuerdo con la reglamentación de transporte:  
No Aplica

### SECCIÓN XI: INFORMACIÓN ECOLÓGICA (De acuerdo con reglamentaciones ecológicas)

Debe de estar de acuerdo a las reglamentaciones ecológicas

- Emisiones a la atmósfera: no existe norma que regule emisiones fugitivas de gas l.p. no obstante se observa en lo que aplica el reglamento de la ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente en materia de prevención y control de la contaminación.
- Actividades altamente riesgosas: hay que ingresar el estudio de riesgo.
- Generación de residuos peligrosos: la norma que se aplicaría es la **NOM-052-ECOL-1993**, que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, no se generan residuos peligrosos, dada la naturaleza del gas l.p.
- Descargas residuales: aplica la norma **NOM-001-ECOL-1996**, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos de agua. No se generan aguas residuales debido a la naturaleza del gas l.p.

### SECCIÓN XII: PRECAUCIONES ESPECIALES

1.- De manejo y almacenamiento

Precauciones que deben ser tomadas para el manejo y almacenamiento:

- Mantener equipos, válvulas de seguridad e instrumentos en perfecto estado de funcionamiento, mediante un adecuado sistema de mantenimiento preventivo.
- Debe mantenerse la temperatura del tanque estacionario por debajo de los 38°C protegiéndolo por medio de barreras de niebla, que disminuyan la temperatura de extintores.
- Las instalaciones eléctricas deben ser a prueba de explosión y los tanques deben de tener conexión a tierra.
- No fumar, ni encender fuego.
- No permitir el acceso a personas ajenas a las instalaciones.

Revisar semestralmente por parte de una unidad verificadora.

2.- Descarga de gas otras precauciones:

**“DURANTE ESTA OPERACIÓN NINGUNA PERSONA DEBERÁ PERMANECER EN LA CABINA DE LA PIPA, Y EL PERSONAL ENCARGADO DE ESTA OPERACIÓN DEBERÁ USAR ROPA DE ALGODÓN, GAFAS Y GUANTES DE NEOPRENO”**

- Toma de muestra de gas y registro de: temperatura, presión, densidad, composición de la mezcla.

- Registro de volúmenes que se reciben.
- Autorización de descarga.
- Acoplamiento de mangueras retorno vapor.
- Acoplamiento de mangueras de líquido.
- Alineamiento de válvulas de tuberías, compresor y tanque de almacenamiento.
- Apertura de válvulas de pipa lentamente (1/4 de vuelta).
- Revisión de la no existencia de fugas.
- Apertura completa de válvulas alineadas.
- Arranque de compresor.
- Revisión de la no existencia de fugas y vigilar condiciones normales de operación de descarga.

**“LA PERSONA ENCARGADA DE LA DESCARGA DE GAS L.P. NO DEBE ABANDONAR EL ÁREA Y ES RESPONSABLE DE VIGILAR CONTINUAMENTE LA OPERACIÓN”**

- Verificar término de trasiego de líquido e indicador visual de flujo y confirmar en rotagauge de la pipa abriendo la válvula de purga en posición de 0% de volumen líquido.
- Verificar y registrar tiempo requerido de descarga.

**“NO ARRANCAR EL MOTOR NI MOVER LA PIPA MIENTRAS SE ENCUENTRE CONECTADA A LAS INSTALACIONES”**

## ANEXO 6

### SIMULACIONES CON LOS PROGRAMAS ALOHA, ARCHIE Y SCRI

#### AMONIACO EVENTO CATASTROFICO

SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE	
1	HAZARDOUS MATERIAL = AMONIACO
2	ADDRESS / LOCATION = INDEFINIDA
3	LATITUDE = SEGUN SEA EL CASO
4	LONGITUDE = SEGUN SEA EL CASO
5	DATE OF ASSESSMENT = 05/09/05
6	SCENARIO DESCRIPTION =
	EUENTO CATASTROFICO
	DISPERSION DE NUBES TOXICAS
	FUGA DEL CONTENIDO TOTAL DEL TANQUE (602 KG)

CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS			
4	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= .28	inch(es)
5	DISCHARGE COEFFICIENT	= .62	
6	LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 1.54	feet
7	WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS	= 1327.17	lbs
8	TEMPERATURE OF TANK CONTENTS	= 75.2	deg F
9	AMBIENT TEMPERATURE	= 96.8	deg F
10	CHEM VAP PRES IN CONTAINER	= 194.7	psia
12	NORMAL BOILING POINT	= -28.12	deg F
13	LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= .7	
MODEL RESULTS:			
	Peak discharge rate	= 136	lbs/min
	Duration of discharge	= 9.770001	minutes
	Amount discharged	= 1328	lbs
	State of material	=	Mix of gas and aerosols



CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	17.03
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	300 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	0 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	F
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	3.35 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	96.8 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	136 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	9.770001 minutes
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Downwind toxic hazard distance at groundlevel	=	5645 feet

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	354662	354662	73
497	.1	16851	16851	370
893	.17	5967	5967	650
1289	.25	3183	3183	940
1685	.32	2033	2033	1230
2081	.4	1437	1437	1520
2477	.47	1084	1084	1810
2873	.55	855	855	2100
3269	.62	697	697	2380
3665	.7	583	583	2670
4061	.77	497	497	2960
4457	.85	430	430	3250
4853	.92	378	378	3540
5249	1	335	335	3830
5645	1.07	300	300	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	354662	354662	73
2304	.44	1218	1218	1680
4508	.86	423	423	3290
6711	1.28	232	232	4890
8915	1.69	153	153	6490
11119	2.11	111	111	8100
13322	2.53	85.9	85.9	9700
15526	2.95	69.3	69.3	11310
17730	3.36	57.6	57.6	12910
19933	3.78	48.7	48.7	14520
22137	4.2	41.9	41.9	16120
24341	4.61	36.4	36.4	17720
26544	5.03	31.9	31.9	19330
28748	5.45	28.2	28.2	20930
30952	5.87	25	25	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	17.03
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	25 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	0 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	F
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	3.35 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	96.8 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	136 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	9.770001 minutes
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Downwind toxic hazard distance at groundlevel	=	30952 feet

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.4	10.5
497	.1	1.7	13.2
893	.17	3.1	15.9
1289	.25	4.4	18.6
1685	.32	5.8	21.3
2081	.4	7.1	23.9
2477	.47	8.5	26.6
2873	.55	9.8	29.3
3269	.62	11.1	32
3665	.7	12.5	34.7
4061	.77	13.8	37.4
4457	.85	15.2	40.1
4853	.92	16.5	42.7
5249	1	17.9	45.4
5645	1.07	19.2	48.1
CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times!			
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?			

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.4	10.5
2304	.44	7.9	25.5
4508	.86	15.3	40.4
6711	1.28	22.8	55.3
8915	1.69	30.3	70.3
11119	2.11	37.8	85.3
13322	2.53	45.2	100.2
15526	2.95	52.7	115.2
17730	3.36	60.2	130.1
19933	3.78	67.7	145.1
22137	4.2	75.1	160
24341	4.61	82.6	175
26544	5.03	90.1	189.9
28748	5.45	97.6	204.9
30952	5.87	105	219.8
CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times!			
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?			

## AMONIACO EVENTO ALTERNATIVO

SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE		
1	HAZARDOUS MATERIAL	= AMONIACO
2	ADDRESS / LOCATION	= INDEFINIDA
3	LATITUDE	= SEGUN SEA EL CASO
4	LONGITUDE	= SEGUN SEA EL CASO
5	DATE OF ASSESSMENT	= 05/09/05
6	SCENARIO DESCRIPTION	=
	EVENO ALTERNATIVO	
	DISPERSION DE NUBES TOXICAS	
	FUGA DE AMONIACO POR UN ORIFICIO DE 5" DE DIAMETRO	

CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS			
4	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= .5	inch(es)
5	DISCHARGE COEFFICIENT	= .62	
6	LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= .98	feet
7	WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS	= 813.5	lbs
8	TEMPERATURE OF TANK CONTENTS	= 75.2	deg F
9	AMBIENT TEMPERATURE	= 80.06	deg F
10	CHEM VAP PRES IN CONTAINER	= 194.7	psia
12	NORMAL BOILING POINT	= -28.12	deg F
13	LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= .7	
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Peak discharge rate	= 433.5	lbs/min
	Duration of discharge	= 1.88	minutes
	Amount discharged	= 813.5	lbs
	State of material	=	Mix of gas and aerosols

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	17.03
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	300 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	.98 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	C
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	6.26 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	80.06 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	433.5 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	1.88 minutes
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Downwind toxic hazard distance at groundlevel	=	1647 feet

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	57632	57192	350
211	.04	14119	14092	730
321	.07	6376	6371	1120
432	.09	3658	3656	1500
542	.11	2386	2386	1880
653	.13	1687	1686	2260
763	.15	1260	1259	2650
874	.17	979	979	2800
984	.19	784	784	2650
1095	.21	644	644	2470
1205	.23	538	538	2250
1316	.25	457	457	1990
1426	.27	394	394	1650
1537	.3	342	342	1190
1647	.32	300	300	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.2	2.3
211	.04	.4	2.7
321	.07	.6	3.1
432	.09	.8	3.5
542	.11	1	3.9
653	.13	1.2	4.3
763	.15	1.4	4.7
874	.17	1.6	5.1
984	.19	1.8	5.5
1095	.21	2	5.9
1205	.23	2.2	6.3
1316	.25	2.4	6.7
1426	.27	2.6	7.1
1537	.3	2.8	7.5
1647	.32	3	7.9

**CAUTION:** See guide for assumptions used in estimating these times!  
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	17.03
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	25 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	.98 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	C
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	6.26 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	80.06 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	433.5 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	1.88 minutes
MODEL RESULTS:			
	Downwind toxic hazard distance at groundlevel	=	5166 feet

C:\VARCHIE\ARCHIE.EXE				
Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	57632	57192	350
462	.09	3219	3218	1600
824	.16	1092	1091	2860
1186	.23	554	554	4110
1548	.3	338	338	5370
1910	.37	227	227	6620
2272	.44	161	161	7870
2633	.5	119	119	8890
2995	.57	89.8	89.8	8420
3357	.64	69.7	69.7	7860
3719	.71	55.2	55.2	7180
4081	.78	44.4	44.4	6340
4443	.85	36.2	36.2	5280
4805	.91	29.9	29.9	3800
5166	.98	25	25	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

C:\VARCHIE\ARCHIE.EXE				
Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)	
100	.02	.2	2.3	
462	.09	.9	3.6	
824	.16	1.5	4.9	
1186	.23	2.2	6.2	
1548	.3	2.9	7.6	
1910	.37	3.5	8.9	
2272	.44	4.2	10.2	
2633	.5	4.8	11.5	
2995	.57	5.5	12.8	
3357	.64	6.1	14.1	
3719	.71	6.8	15.4	
4081	.78	7.5	16.7	
4443	.85	8.1	18.1	
4805	.91	8.8	19.4	
5166	.98	9.4	20.7	

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times!  
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?

## COLORO EVENTO CATASTRÓFICO

SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE	
1	HAZARDOUS MATERIAL = CLORO
2	ADDRESS / LOCATION = INDEFINIDA
3	LATITUDE = SEGUN SEA EL CASO
4	LONGITUDE = SEGUN SEA EL CASO
5	DATE OF ASSESSMENT = 05/09/05
6	SCENARIO DESCRIPTION =
	EUENTO CATASTROFICO
	DISPERSION DE NUBES TOXICAS
	FUGA DEL CONTENIDO TOTAL DEL TANQUE (907 KG)

CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS			
4	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= .32	inch(es)
5	DISCHARGE COEFFICIENT	= .62	
6	LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 1.57	feet
7	WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS	= 1999.59	lbs
8	TEMPERATURE OF TANK CONTENTS	= 5	deg F
9	AMBIENT TEMPERATURE	= 96.8	deg F
10	CHEM VAP PRES IN CONTAINER	= 128.47	psia
12	NORMAL BOILING POINT	= -29.29	deg F
13	LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= 1.46	
MODEL RESULTS:			
	Peak discharge rate	= 204.3	lbs/min
	Duration of discharge	= 9.8	minutes
	Amount discharged	= 2000	lbs
	State of material	=	Mix of gas and aerosols

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	70.906
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	10 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	0 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	F
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	3.35 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	96.8 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	204.3 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	9.8 minutes
MODEL RESULTS:			
	Downwind toxic hazard distance at groundlevel	=	29035 feet

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	127961	127961	73
2167	.42	485	485	1580
4234	.81	168	168	3090
6301	1.2	91.8	91.8	4590
8368	1.59	60.4	60.4	6100
10434	1.98	43.9	43.9	7600
12501	2.37	34	34	9100
14568	2.76	27.4	27.4	10610
16635	3.16	22.7	22.7	12110
18702	3.55	19.3	19.3	13620
20768	3.94	16.6	16.6	15120
22835	4.33	14.5	14.5	16630
24902	4.72	12.7	12.7	18130
26969	5.11	11.3	11.3	19640
29035	5.5	10.1	10.1	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.4	10.5
2167	.42	7.4	24.6
4234	.81	14.4	38.6
6301	1.2	21.4	52.6
8368	1.59	28.4	66.6
10434	1.98	35.4	80.6
12501	2.37	42.5	94.7
14568	2.76	49.5	108.7
16635	3.16	56.5	122.7
18702	3.55	63.5	136.7
20768	3.94	70.5	150.7
22835	4.33	77.5	164.8
24902	4.72	84.5	178.8
26969	5.11	91.5	192.8
29035	5.5	98.5	206.8

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times!  
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	70.906
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	1 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	0 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	F
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	3.35 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	96.8 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	204.3 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	9.8 minutes
MODEL RESULTS:			
	Downwind toxic hazard distance at groundlevel	=	103522 feet

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	127961	127961	73
7488	1.42	71.1	71.1	5460
14875	2.82	26.6	26.6	10830
22262	4.22	15	15	16210
29650	5.62	9.7	9.7	21590
37037	7.02	6.8	6.8	26970
44424	8.42	4.9	4.9	32340
51811	9.82	3.8	3.8	37720
59199	11.22	2.9	2.9	43100
66586	12.62	2.4	2.4	48480
73973	14.01	2	2	53850
81360	15.41	1.6	1.6	59230
88748	16.81	1.4	1.4	64610
96135	18.21	1.2	1.2	69990
103522	19.61	1.1	1.1	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.4	10.5
7488	1.42	25.5	60.7
14875	2.82	50.5	110.8
22262	4.22	75.6	160.9
29650	5.62	100.6	211
37037	7.02	125.7	261.1
44424	8.42	150.7	311.2
51811	9.82	175.8	361.3
59199	11.22	200.9	411.5
66586	12.62	225.9	461.6
73973	14.01	251	511.7
81360	15.41	276	561.8
88748	16.81	301.1	611.9
96135	18.21	326.2	662.1
103522	19.61	351.2	712.2

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times!  
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?



## CLORO EVENTO ALTERNATIVO

SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE		
1	HAZARDOUS MATERIAL	= CLORO
2	ADDRESS / LOCATION	= INDEFINIDA
3	LATITUDE	= SEGUN SEA EL CASO
4	LONGITUDE	= SEGUN SEA EL CASO
5	DATE OF ASSESSMENT	= 05/09/05
6	SCENARIO DESCRIPTION	=
	EUEENTO ALTERNATIUO DISPERSION DE NUBES TOXICAS PUGA POR RUPTURA DE LA TUBERIA QUE CONDUCE EL CLORO AL DOSIFICADOR	

CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS			
4	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= .375	inch(es)
5	DISCHARGE COEFFICIENT	= .62	
6	LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 1.38	feet
7	WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS	= 330.69	lbs
8	TEMPERATURE OF TANK CONTENTS	= 5	deg F
9	AMBIENT TEMPERATURE	= 80.06	deg F
10	CHEM VAP PRES IN CONTAINER	= 128.47	psia
12	NORMAL BOILING POINT	= -29.29	deg F
13	LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= 1.46	
MODEL RESULTS:			
	Peak discharge rate	= 280.4	lbs/min
	Duration of discharge	= 1.18	minutes
	Amount discharged	= 330.69	lbs
	State of material	=	Mix of gas and aerosols

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	=	70.906
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	10 ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	1.38 feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	C
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	6.26 mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	80.06 deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	280.4 lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	1.18 minutes
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Downwind toxic hazard distance	=	
	at groundlevel	=	3091 feet
	at exit height	=	3091 feet
	Peak concentration on ground is		240594 ppm
	at a downwind distance of		11 ft

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION				
Downwind Distance	Groundlevel	Source Height	Initial Evacuation	
(feet)	Concentration	Concentration	Zone Width*	
(feet)	(miles)	(ppm)	(ppm)	(feet)
100	.02	8886	8754	350
314	.06	1034	1032	1090
528	.1	391	390	1830
741	.15	207	207	2570
955	.19	129	129	3310
1168	.23	87.3	87.3	4050
1382	.27	62.6	62.6	4790
1596	.31	46.4	46.4	5300
1809	.35	35.4	35.4	5020
2023	.39	27.6	27.6	4680
2236	.43	21.9	21.9	4270
2450	.47	17.7	17.7	3770
2663	.51	14.5	14.5	3140
2877	.55	12	12	2260
3091	.59	10.1	10	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
 \*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR HAZARD EVALUATION			
Downwind Distance	Contaminant Arrival Time	Contaminant Departure Time	
(feet)	at Downwind Location	at Downwind Location	
(feet)	(miles)	(minutes)	(minutes)
100	.02	.2	1.6
314	.06	.6	2.4
528	.1	1	3.1
741	.15	1.4	3.9
955	.19	1.8	4.7
1168	.23	2.2	5.5
1382	.27	2.6	6.2
1596	.31	2.9	7
1809	.35	3.3	7.8
2023	.39	3.7	8.6
2236	.43	4.1	9.3
2450	.47	4.5	10.1
2663	.51	4.9	10.9
2877	.55	5.3	11.7
3091	.59	5.7	12.5

CAUTION: See guide for assumptions used in estimating these times!  
 Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?

C:\ARCHIE\ARCHIE.EXE

**CURRENT PARAMETER VALUES FOR TOXIC GAS OR VAPOR  
HAZARD EVALUATION**

1	MOLECULAR WEIGHT	=	70.906	
2	TOXIC VAPOR LIMIT	=	1	ppm
3	VAPOR/GAS DISCHARGE HEIGHT	=	1.38	feet
4	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	=	C	
5	WIND VELOCITY AT SURFACE	=	6.26	mph
6	AMBIENT AIR TEMPERATURE	=	80.06	deg F
7	VAPOR/GAS EMISSION RATE	=	280.4	lb/min
8	DURATION OF EMISSION	=	1.18	minutes

**MODEL RESULTS:**

Downwind toxic hazard distance				
at groundlevel	=	7483	feet	
at exit height	=	7483	feet	

Peak concentration on ground is 240560.2 ppm  
at a downwind distance of 11 ft

C:\ARCHIE\ARCHIE.EXE

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Groundlevel Concentration (ppm)	Source Height Concentration (ppm)	Initial Evacuation Zone Width* (feet)
100	.02	8886	8754	350
628	.12	282	282	2180
1155	.22	89.3	89.3	4000
1682	.32	41.5	41.5	5830
2210	.42	22.5	22.5	7660
2737	.52	13.5	13.5	9480
3264	.62	8.8	8.8	11310
3792	.72	6	6	12910
4319	.82	4.3	4.3	12230
4846	.92	3.2	3.2	11410
5374	1.02	2.5	2.5	10420
5901	1.12	1.9	1.9	9210
6428	1.22	1.5	1.5	7670
6956	1.32	1.3	1.3	5520
7483	1.42	1	1	1

\*Usually safe for < 1 hour release. Longer releases or sudden wind shifts may require a larger width or different direction for the evacuation zone.  
\*\*\*\*\* Press ENTER to Continue \*\*\*\*\*

C:\ARCHIE\ARCHIE.EXE

Downwind Distance (feet)	Downwind Distance (miles)	Contaminant Arrival Time at Downwind Location (minutes)	Contaminant Departure Time at Downwind Location (minutes)
100	.02	.2	1.6
628	.12	1.2	3.5
1155	.22	2.1	5.4
1682	.32	3.1	7.3
2210	.42	4.1	9.3
2737	.52	5	11.2
3264	.62	6	13.1
3792	.72	6.9	15
4319	.82	7.9	16.9
4846	.92	8.8	18.8
5374	1.02	9.8	20.7
5901	1.12	10.8	22.7
6428	1.22	11.7	24.6
6956	1.32	12.7	26.5
7483	1.42	13.6	28.4

**CAUTION:** See guide for assumptions used in estimating these times!  
Want to rerun the model with different input values (Y/N or <cr>)?

**GAS LICUADO DE PETRÓLEO EVENTO CATASTRÓFICO  
EXPLOSION DE NUBE DE VAPOR**

```

C:\> C:\ARCHIE\ARCHIE.EXE
-----
SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE
-----

1  HAZARDOUS MATERIAL      = GAS LICUADO DE PETROLEO
2  ADDRESS / LOCATION     = INDEFINIDA
3  LATITUDE                = SEGUN SEA EL CASO
4  LONGITUDE               = SEGUN SEA EL CASO
5  DATE OF ASSESSMENT     = 05/09/05
6  SCENARIO DESCRIPTION   =

EVENO CATASTROFICO
EXPLOSION DE NUBE DE VAPOR <UUCE>
CAPACIDAD DEL TANQUE 250.000 LITROS <LLENADO AL 85%>

```

```

C:\> C:\ARCHIE\ARCHIE.EXE
-----
CURRENT PARAMETER VALUES FOR UNCONFINED
VAPOR CLOUD EXPLOSION HAZARD EVALUATION
-----

1  LOWER HEAT OF COMBUSTION      = 21542  Btu/lb
2  EXPLOSION YIELD FACTOR       = .03
3  WEIGHT AIRBORNE EXPLOSIVE GAS = 166454  lbs
4  LOCATION OF EXPLOSION        = Groundlevel

Want to rerun the model with different input values <Y/N or <cr>>?

```

```

C:\> C:\ARCHIE\ARCHIE.EXE
-----
UNCONFINED VAPOR CLOUD EXPLOSION EFFECTS
-----
DISTANCE FROM EXPLOSION      EXPECTED DAMAGE
  (feet)
-----
29928                        Occasional breakage of large windows under stress.
4217                          Some damage to home ceilings; 10% window breakage.
1574 - 2730                  Windows usually shattered; some frame damage.
404 - 1574                   Partial demolition of homes; made uninhabitable.
950                           Range serious/slight injuries from flying glass/objects.
725 - 950                    Partial collapse of home walls/roofs.
323 - 839                    Non-reinforced concrete/cinder block walls shattered.
817                           Range 90-1% eardrum rupture among exposed population.
605 - 725                    50% destruction of home brickwork.
528                           Frameless steel panel buildings ruined.
435 - 528                    Wooden utility poles snapped.
358                           Nearly complete destruction of houses.
215 - 296                    Probable total building destruction.
                             Range for 99-1% fatalities among exposed populations
                             due to direct blast effects.
-----
PRESS ENTER TO CONTINUE

```

ONDAS DE SOBREPRESIÓN PSIG	ONDAS DE SOBREPRESIÓN Kg/cm <sup>2</sup>	DAÑOS OCASIONADOS
0.03	0.0021	Rompimiento ocasional de grandes ventanas.
0.3	0.021	Algunos techos dañados, 10% de ventanas rotas
1 – 0.5	0.035 – 0.070	Ventanas hechas añicos, algunas estructuras sufren daños.
1.0	0.070	Demolición parcial de casas, se vuelven inhabitables
1 – 8	0.070 - 0.56	Rango de heridos serios
2.0	0.14	Colapso parcial de paredes y techos
2 – 3	0.14 – 0.21	Las paredes de concreto no reforzadas se colapsan
2.4 – 12.2	0.16 – 0.85	Ruptura de tímpanos
2.5	0.17	50% de destrucción de casas hechas de ladrillo
3 – 4	0.21 – 0.28	Destrucción de edificios
5.0	0.35	Rompimiento de instalaciones de madera
5 – 7	0.35 – 0.49	Total destrucción de casas cercanas
10	0.70	Probable destrucción total de edificios
15.5 - 29	---	Fatalidad entre la población expuesta en un rango del 1 al 99% debido a los efectos del impacto directo.

CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHOD			
4	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= 4.3	inch(es)
5	DISCHARGE COEFFICIENT	= .62	
6	LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 8.82	feet
7	WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS	= 237848.2	lbs
8	TEMPERATURE OF TANK CONTENTS	= 77	deg F
9	AMBIENT TEMPERATURE	= 96.8	deg F
10	CHEM VAP PRES IN CONTAINER	= 156.9	psia
12	NORMAL BOILING POINT	= -44	deg F
13	LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= .5077	
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Peak discharge rate	= 24339	lbs/min
	Duration of discharge	= 9.78	minutes
	Amount discharged	= 237849	lbs
	State of material	=	Mix of gas and aerosols

CURRENT PARAMETER VALUES FOR VAPOR CLOUD FIRE HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	= 44.097	
2	NORMAL BOILING POINT	= -44	degrees F
4	LOWER FLAMMABLE LIMIT	= 2.1	vol %
5	AMBIENT TEMPERATURE	= 96.8	degrees F
6	LIQ TEMP IN TANK	= 77	degrees F
7	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	= F	
8	WIND VELOCITY	= 3.35	mph
9	VAPOR/GAS EMISSION RATE	= 24339	lbs/min
10	EMISSION DURATION	= 9.78	minutes
<b>MODEL RESULTS: For concentrations of</b>			
		<b>1/2 LFL</b>	<b>LFL</b>
	Downwind hazard distance in feet	= 2432	2017
	Max downwind hazard width in feet	= 3404	2823
	Weight airborne gas in lbs	= 200712	166454
	Initial relative vapor/air density	= 2.05	2.05
	Model type used for analyses	=	Heavy gas

**GAS LICUADO DE PETROLEO EVENTO ALTERNATIVO  
INCENDIO TIPO BOLA DE FUEGO**

```
C:\ VARCHIE\ARCHIE.EXE
SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE

1 HAZARDOUS MATERIAL      = GAS LICUADO DE PETROLEO
2 ADDRESS / LOCATION      = INDEFINIDA
3 LATITUDE                 = SEGUN SEA EL CASO
4 LONGITUDE                = SEGUN SEA EL CASO
5 DATE OF ASSESSMENT      = 05/09/05
6 SCENARIO DESCRIPTION    =

EUEENTO ALTERNATIUVO
INCENDIO TIPO BOLA DE FUEGO
CAPACIDAD DEL TANQUE 250,000 LITROS <LLENADO AL 85%>
```

```
C:\ VARCHIE\ARCHIE.EXE
CURRENT PARAMETER VALUES FOR FIREBALL
RADIATION ESTIMATION METHOD

TANK CONTENTS DURING FIREBALL = 237848.2 lbs
Want to change the weight <Y/N or <cr>>? N

MODEL RESULTS:

Maximum fireball diameter = 988 feet
Maximum fireball height   = 1623 feet
Fireball duration         = 17.7 seconds
Fatality zone radius      = 1518 feet
Injury zone radius        = 2830 feet

WARNING: Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions (BLEVEs)
may cause high velocity tank fragments to travel
considerable distances. Some tanks, especially
horizontal cylindrical types, may rocket while
spewing forth flames.
```

**GAS LICUADO DE PETROLEO EVENTO ALTERNATIVO  
INCENDIO DE NUBE DE VAPOR**

SUMMARY OF HEADING DATA FOR ACCIDENT SCENARIO FILE		
1	HAZARDOUS MATERIAL	= GAS LICUADO DE PETROLEO
2	ADDRESS / LOCATION	= INDEFINIDA
3	LATITUDE	= SEGUN SEA EL CASO
4	LONGITUDE	= SEGUN SEA EL CASO
5	DATE OF ASSESSMENT	= 05/09/05
6	SCENARIO DESCRIPTION	=
<p style="margin-left: 40px;">EVENO ALTERNATIVO INCENDIO DE NUBE DE VAPOR CAPACIDAD DEL TANQUE DE 250,000 LITROS (85%)</p>		

CURRENT PARAMETER VALUES FOR DISCHARGE RATE ESTIMATION METHODS			
4	DISCHARGE HOLE DIAMETER	= 1	inch(es)
5	DISCHARGE COEFFICIENT	= .62	
6	LIQUID HEIGHT IN CONTAINER	= 4.53	feet
7	WEIGHT OF CONTAINER CONTENTS	= 118924.1	lbs
8	TEMPERATURE OF TANK CONTENTS	= 77	deg F
9	AMBIENT TEMPERATURE	= 80.06	deg F
10	CHEM VAP PRES IN CONTAINER	= 156.9	psia
12	NORMAL BOILING POINT	= -44	deg F
13	LIQUID SPECIFIC GRAVITY	= .5077	
<b>MODEL RESULTS:</b>			
	Peak discharge rate	= 1314.2	lbs/min
	Duration of discharge	= 90.5	minutes
	Amount discharged	= 118925	lbs
	State of material	=	Mix of gas and aerosols

CURRENT PARAMETER VALUES FOR VAPOR CLOUD FIRE HAZARD EVALUATION			
1	MOLECULAR WEIGHT	= 44.097	
2	NORMAL BOILING POINT	= -44	degrees F
4	LOWER FLAMMABLE LIMIT	= 2.1	vol %
5	AMBIENT TEMPERATURE	= 80.06	degrees F
6	LIQ TEMP IN TANK	= 77	degrees F
7	ATMOSPHERIC STABILITY CLASS	= D	
8	WIND VELOCITY	= 18.57	mph
9	VAPOR/GAS EMISSION RATE	= 1314.2	lbs/min
10	EMISSION DURATION	= 90.5	minutes
<b>MODEL RESULTS: For concentrations of</b>			
		<u>1/2 LFL</u>	<u>LFL</u>
	Downwind hazard distance in feet	= 597	411
	Max downwind hazard width in feet	= 299	206
	Weight airborne gas in lbs	= 481	331
	Initial relative vapor/air density	= 1.99	1.99
	Model type used for analyses	=	Heavy gas

## AMONIACO EVENTO CATASTRÓFICO

C:\SCRI2\SCRI2.EXE

---

M O D E L O   D E   S I M U L A C I O N   F U G A S   Y   D E R R A M E S  
W O R L D   E N V I R O N M E N T   C E N T E R,   I N C.

---

ALTA DE DATOS PARA CALCULAR LA DISPERSION

Fecha <dd/mm/aa> : 05/09/05  
 Nombre del Contaminante : AMONIACO  
 Lugar de emisión : INDEFINIDO

Concentración de interés (mg/m3) <1> : 207.670  
 Concentración de interés (mg/m3) <2> : 17.310  
 Concentración de interés (mg/m3) <3> : 0.000

Gasto del Evento <g/s> : 1.003.33  
 Altura del Evento <m> : 0.00  
 Altura capa inversión térmica <m> : 0.00  
 Clase de estabilidad : F MUY ESTABLE  
 Velocidad del viento <m/s> : 1.50  
 Angulo de fluctuación <º> : 15.00

---

SCRI

F1[Ayuda] F2[Comentarios] F3[Presión U.] F4[Estabilidad] F5[Modelar]  
 F6[Op.Gráficas] F7[PesoMolec.] F8[Reporte] F10[Documentación] ^W[Salva]

## CLORO EVENTO CATASTRÓFICO

C:\SCRI2\SCRI2.EXE

---

M O D E L O   D E   S I M U L A C I O N   F U G A S   Y   D E R R A M E S  
W O R L D   E N V I R O N M E N T   C E N T E R,   I N C.

---

ALTA DE DATOS PARA CALCULAR LA DISPERSION

Fecha <dd/mm/aa> : 05/09/05  
 Nombre del Contaminante : CLORO  
 Lugar de emisión : INDEFINIDO

Concentración de interés (mg/m3) <1> : 30.000  
 Concentración de interés (mg/m3) <2> : 3.000  
 Concentración de interés (mg/m3) <3> : 0.000

Gasto del Evento <g/s> : 1.511.66  
 Altura del Evento <m> : 0.00  
 Altura capa inversión térmica <m> : 0.00  
 Clase de estabilidad : F MUY ESTABLE  
 Velocidad del viento <m/s> : 1.50  
 Angulo de fluctuación <º> : 15.00

---

SCRI

F1[Ayuda] F2[Comentarios] F3[Presión U.] F4[Estabilidad] F5[Modelar]  
 F6[Op.Gráficas] F7[PesoMolec.] F8[Reporte] F10[Documentación] ^W[Salva]



## GAS LICUADO DE PETRÓLEO EVENTO CATASTRÓFICO

**MODELO PARA LA EVALUACION DE DAÑOS DE NUBES EXPLOSIVAS**  
**WORLD ENVIRONMENT CENTER, INC.**

---

sh

**ALTA DE DATOS PARA CALCULAR LA NUBE EXPLOSIVA**

Fecha (dd/mm/aa) : 05/09/05  
 Nombre de la Sustancia : GAS LICUADO DE PETROLEO  
 Lugar de Emisión : INDEFINIDO  
 Tipo de Sust. [A, B, C] : B GAS Licuado por Alta Presión ó Baja Temp.  
 Peso Molecular (lb/lb.mol) : 44.097  
 Calor de Combustión (BTU/lb) : 21542.000  
 Límite Inferior Explosiv. (%): 2.100  
 Límite Superior Explosiv. (%): 9.500  
 Altura de la Nube (ft) : 10.000  
 Densidad a Temp. Proc. (g/ml) : 0.507  
 Temperatura de Ebullición (°C) : -42.200  
 Temperatura del Proceso (°C) : 25.000  
 Volumen del Proceso (gal) : 28071.250

---

SCRI

F1 [Ayuda]    F2 [Comentarios]    F3 [Op.Gráficas]    F5 [Modelar]  
 F6 [Graficar]    F8 [Reporte]    F10 [Documentación]    Ctrl-WISALVA

**MODELO PARA LA EVALUACION DE DAÑOS DE NUBES EXPLOSIVAS**  
**WORLD ENVIRONMENT CENTER, INC.**

---

sh

**R E S U L T A D O S**

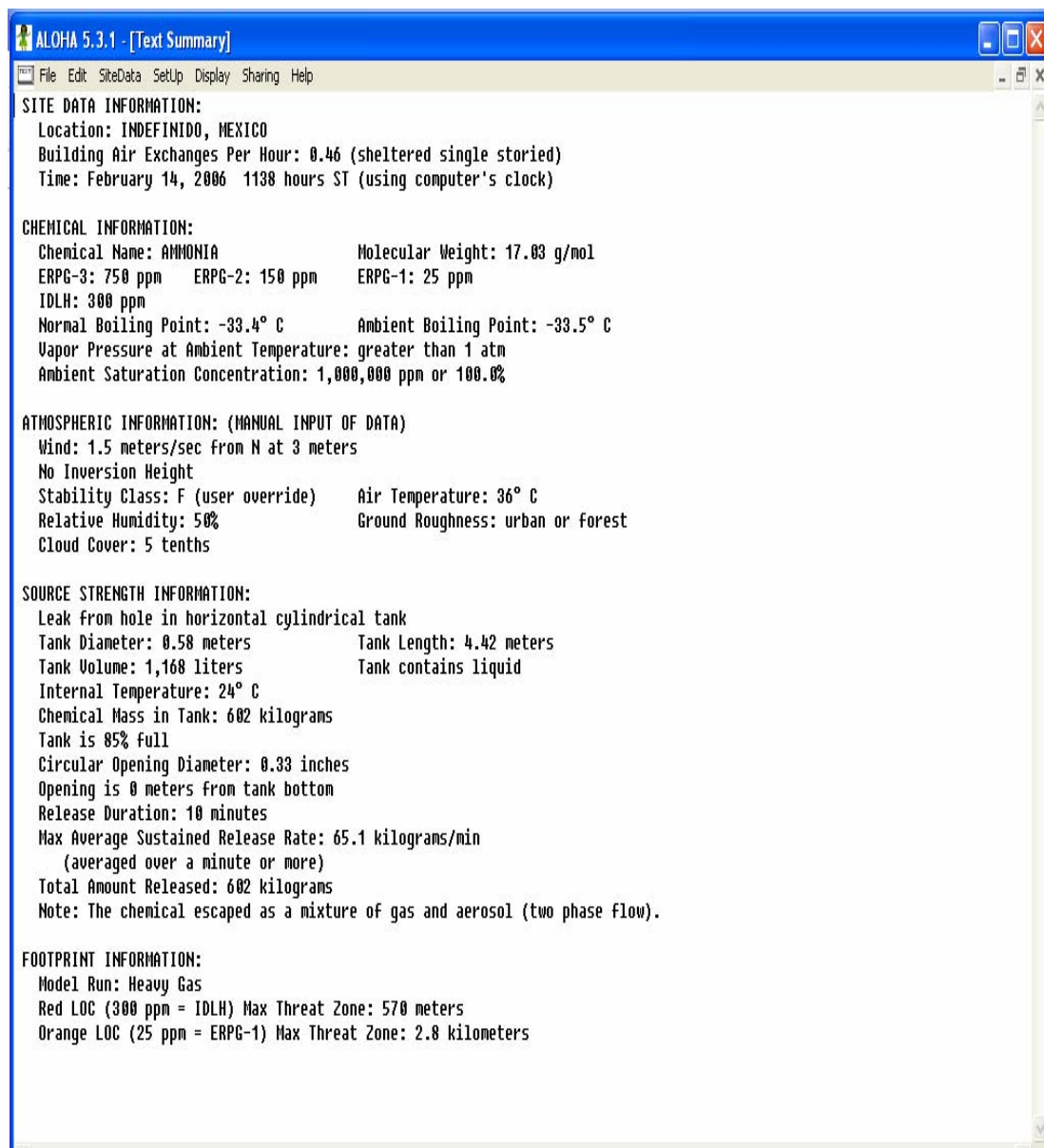
WL) Peso del Material Líquido Fugado . . : 118695.912 lb  
 W) Peso del Material Uaporizado . . . : 118695.912 lb  
 U) Fracción de Material en la Nube . . : 0.058 %  
 D) Diámetro de la Nube . . . . . : 1511.056 ft  
 Ed) Energía Desprendida [DMP] . . . . : 12.784737 Ton. de TNT  
 Ed) Energía Desprendida [DMC] . . . . : 63.923683 Ton. de TNT

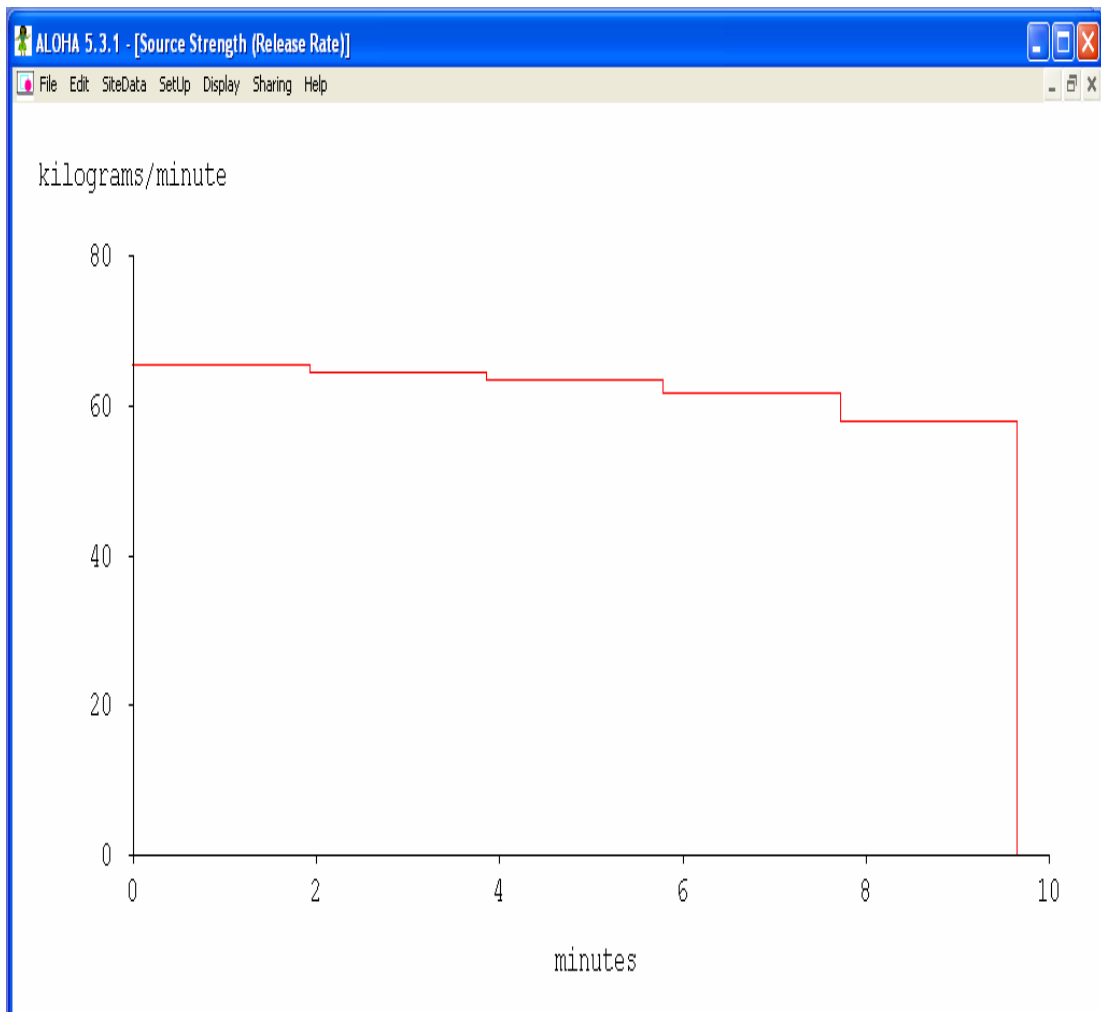
Para [	0.5 ]	PSI	Diám. [DMP]	920.107 m	Diám. [DMC]	1573.361 m
[	1.0 ]		570.167		974.972	
[	2.0 ]		345.664		591.077	
[	3.0 ]		285.084		487.486	
[	5.0 ]		208.111		355.865	
[	7.0 ]		171.050		292.492	
[	10.0 ]		142.542		243.743	
[	20.0 ]		114.746		196.213	
[	30.0 ]		85.525		146.246	

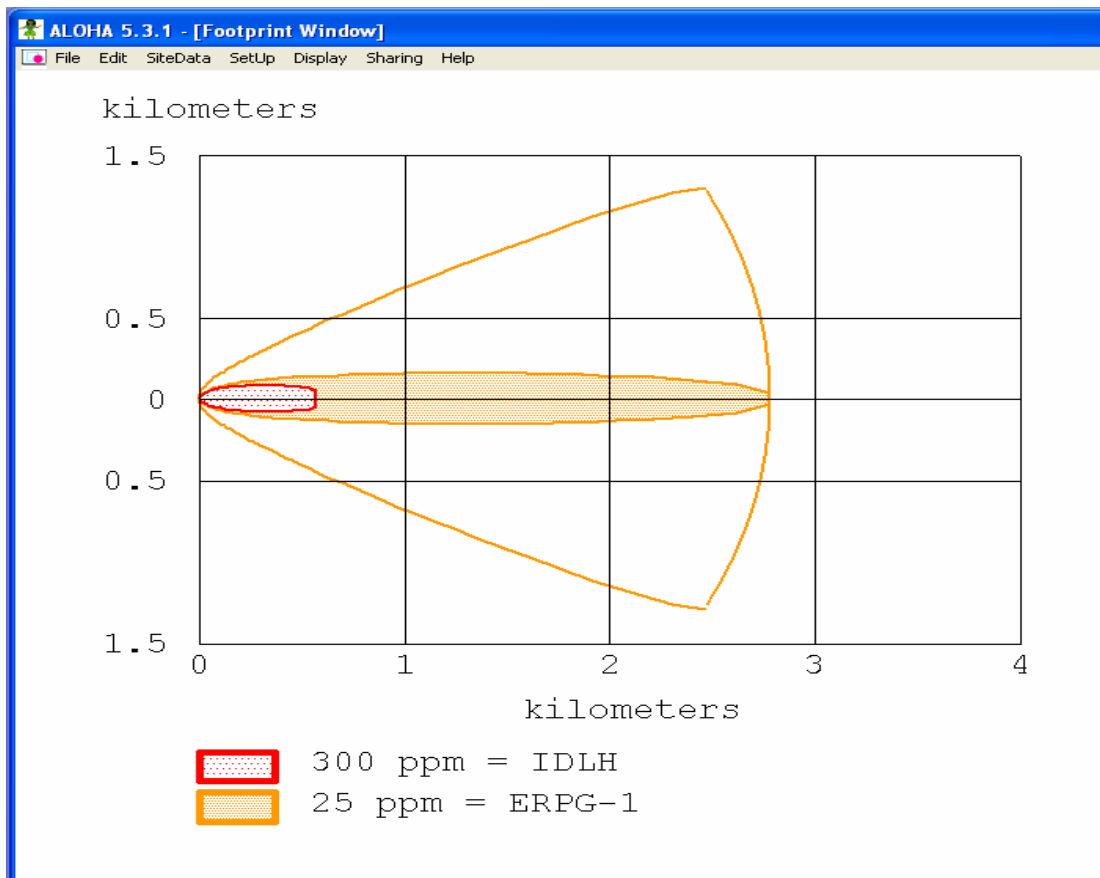
---

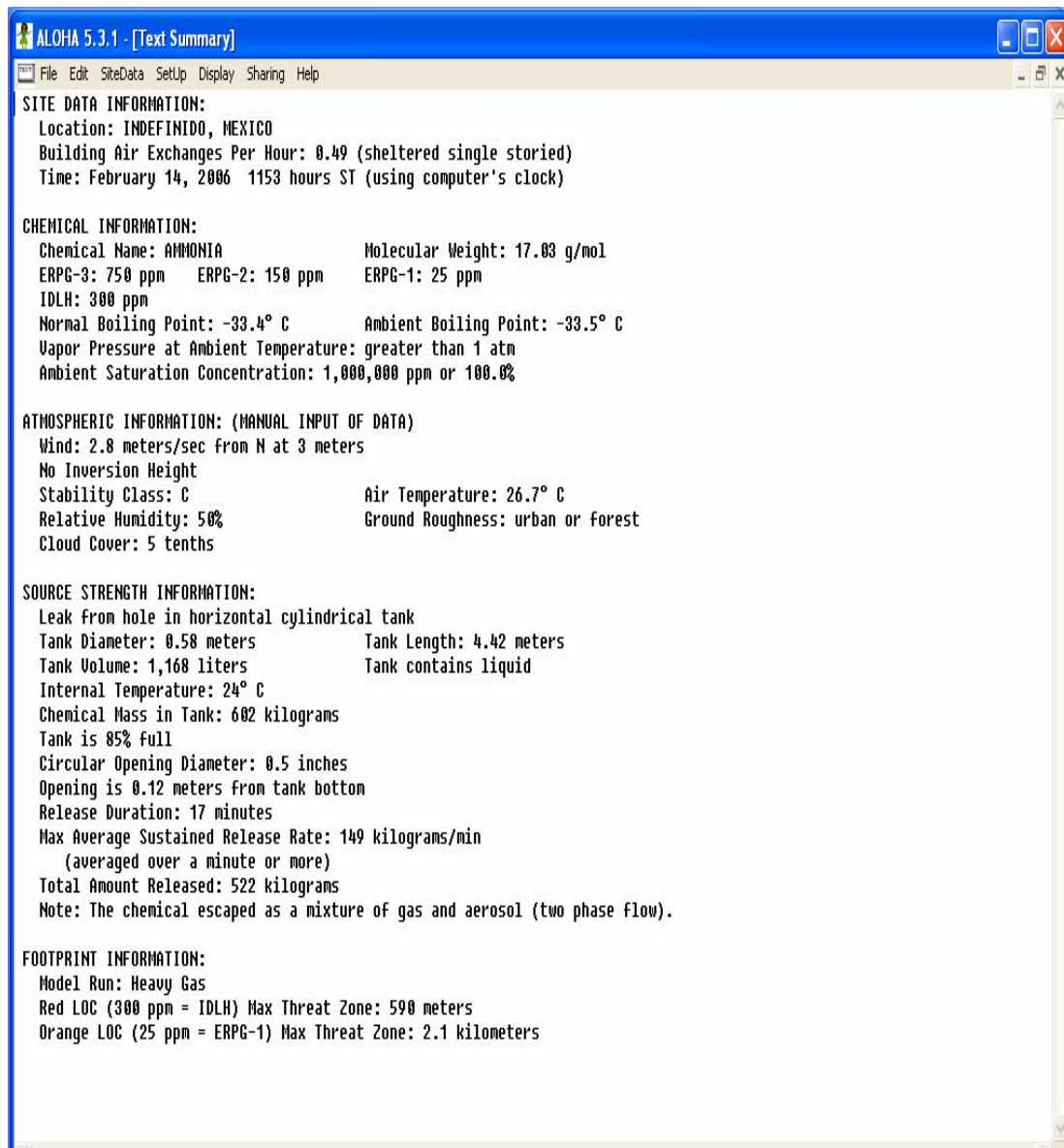
SCRI

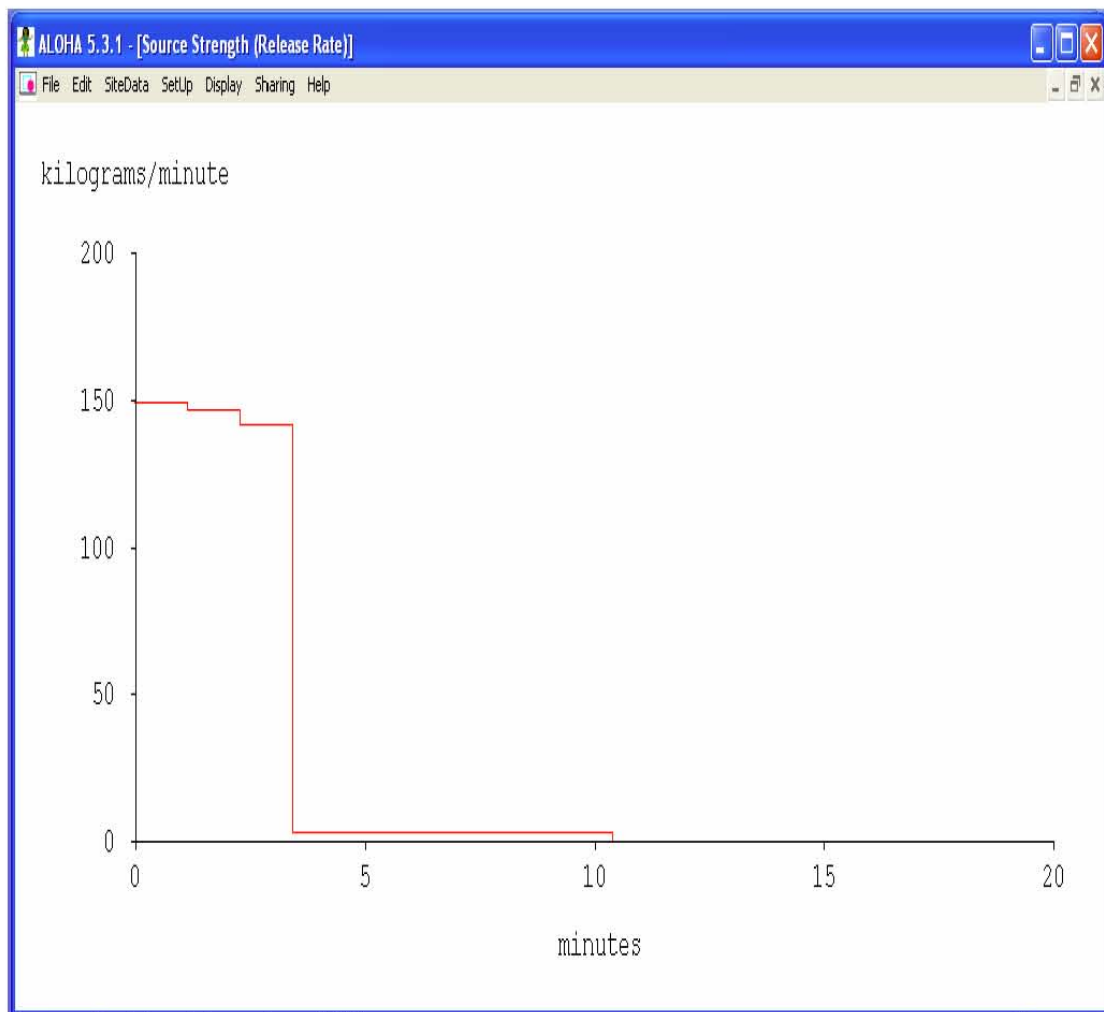
Pulse cualquier tecla para Continuar . . . .

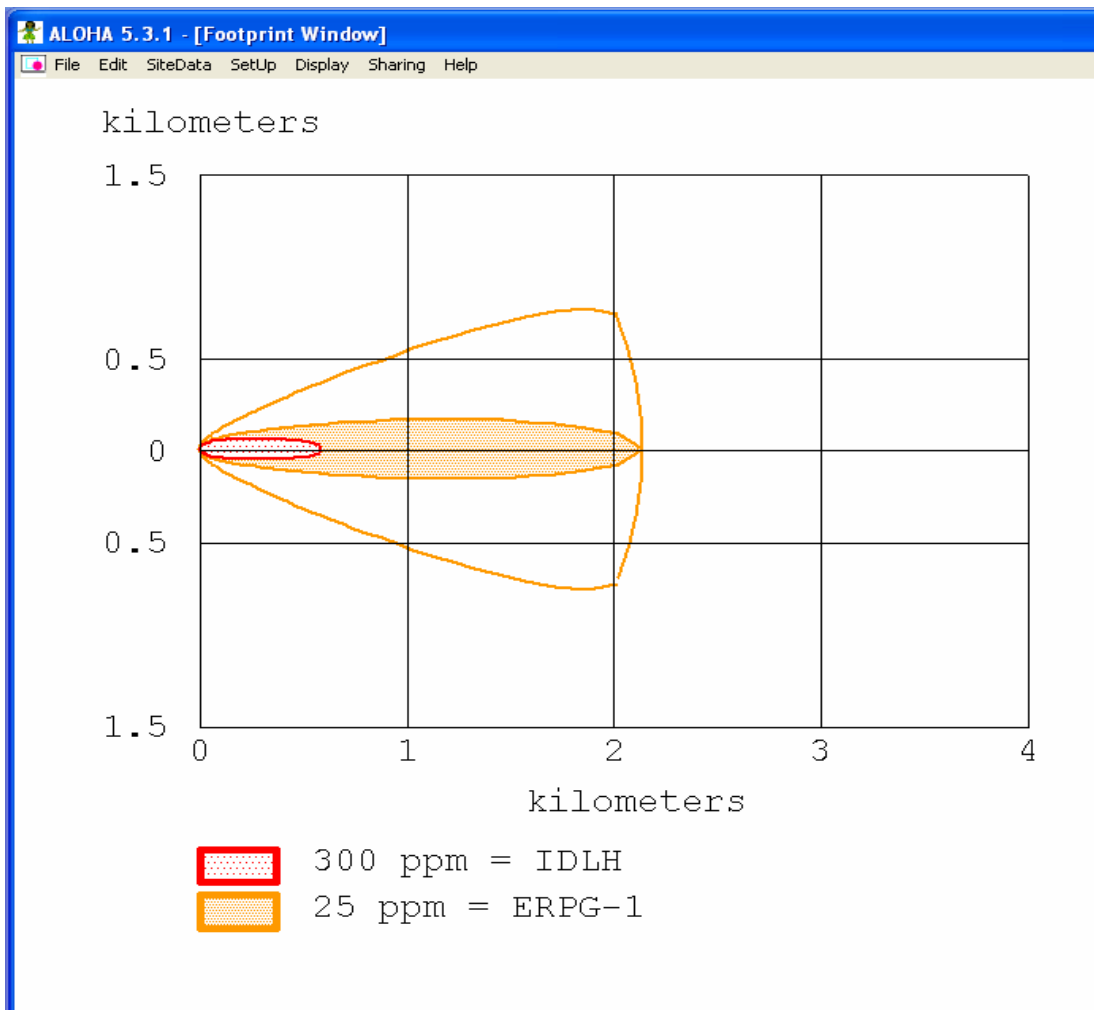


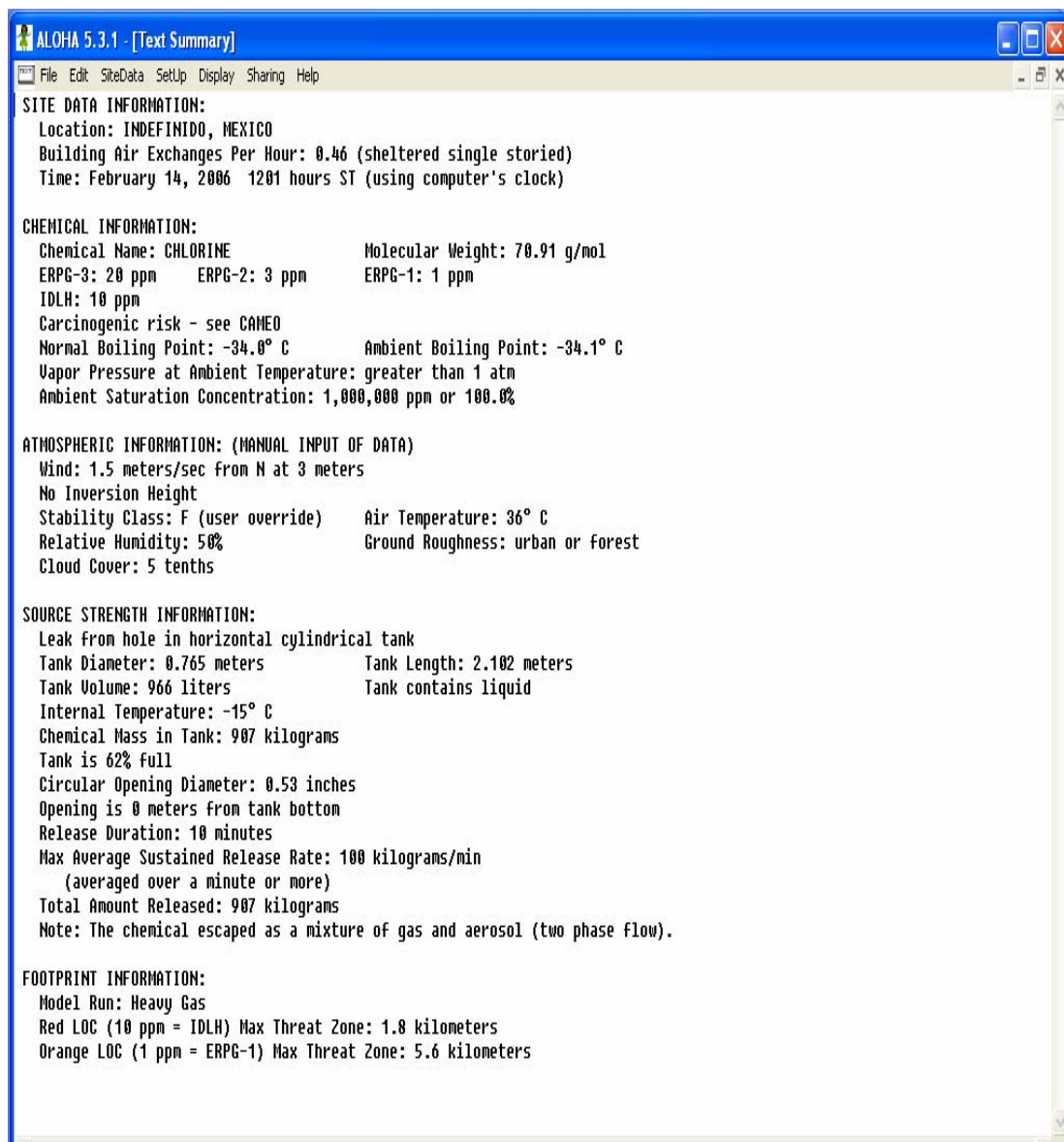




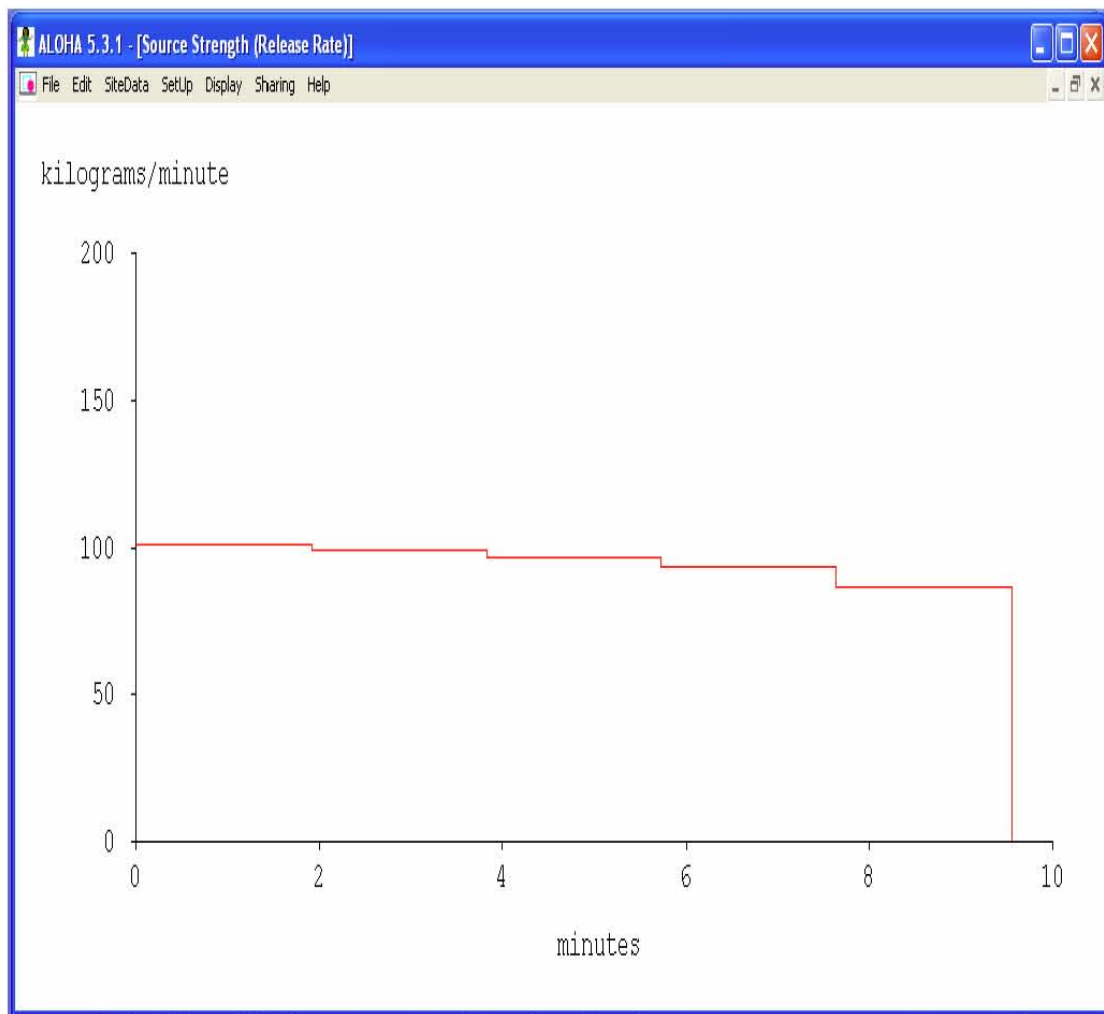


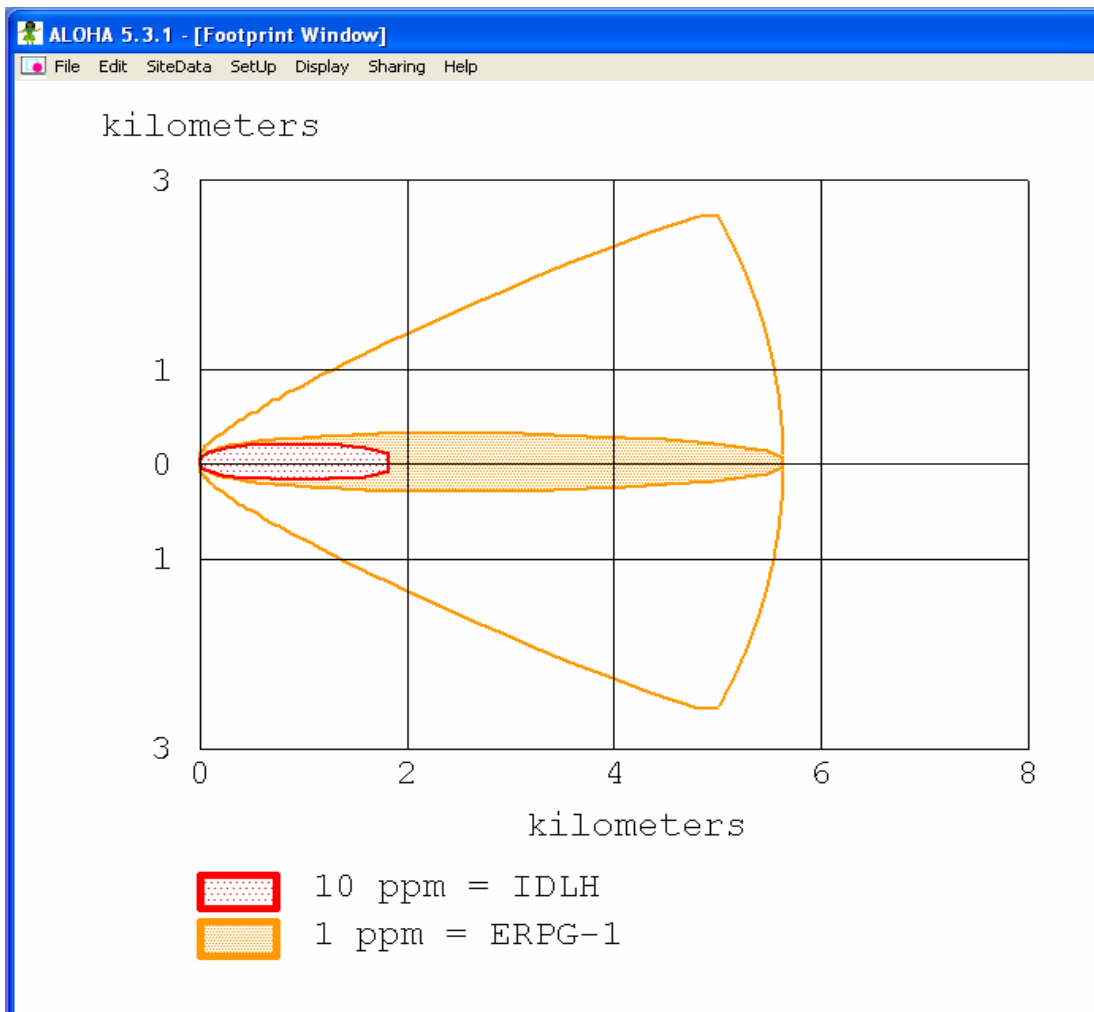


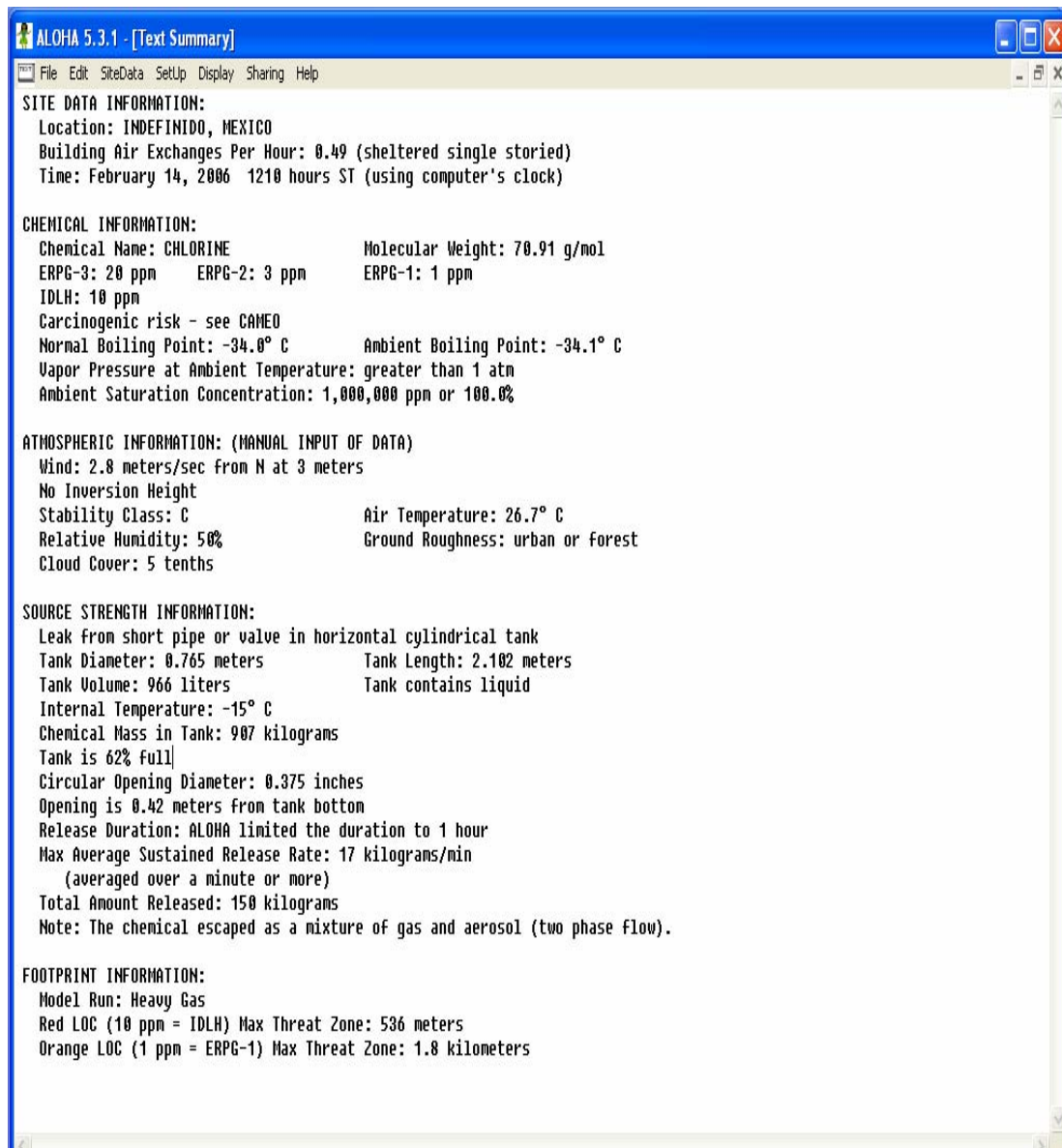


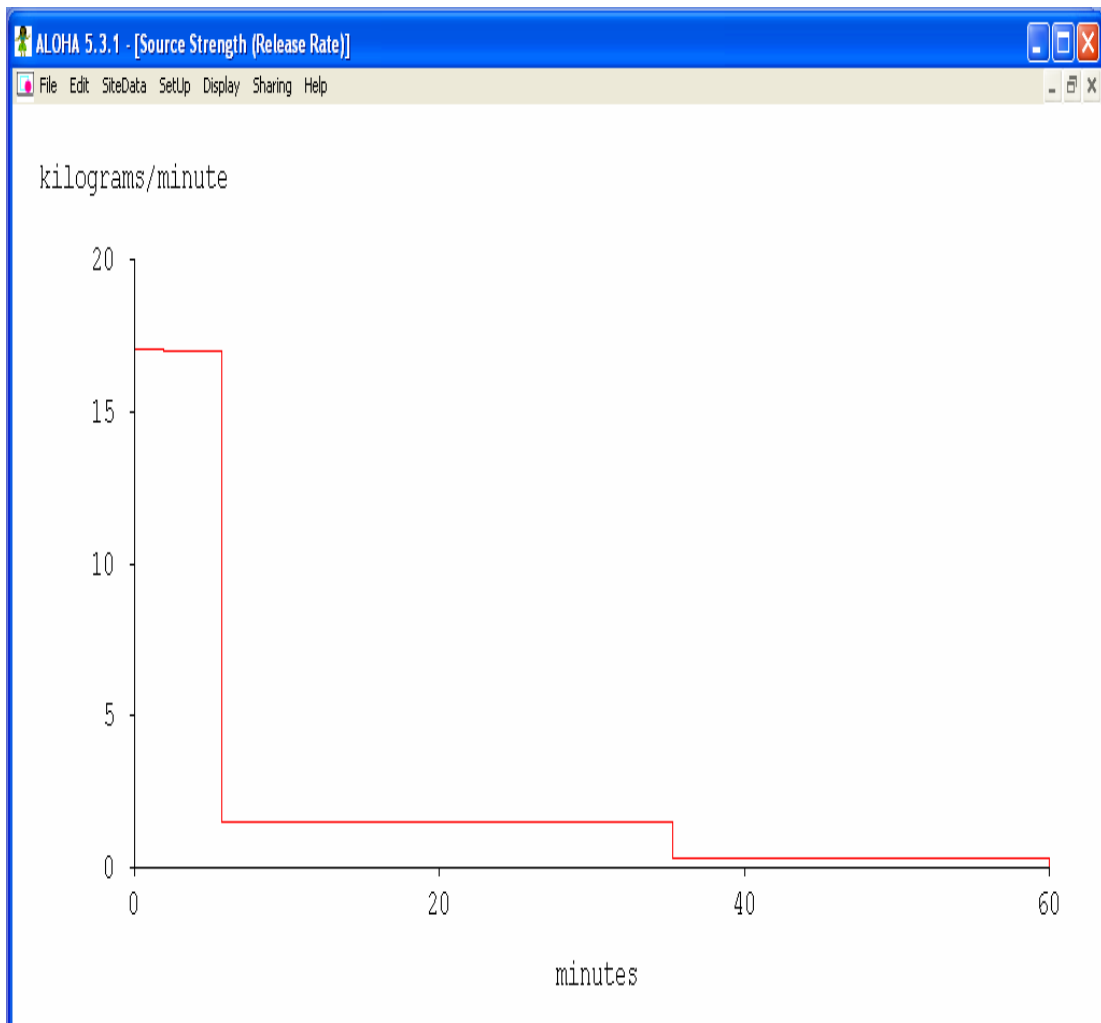


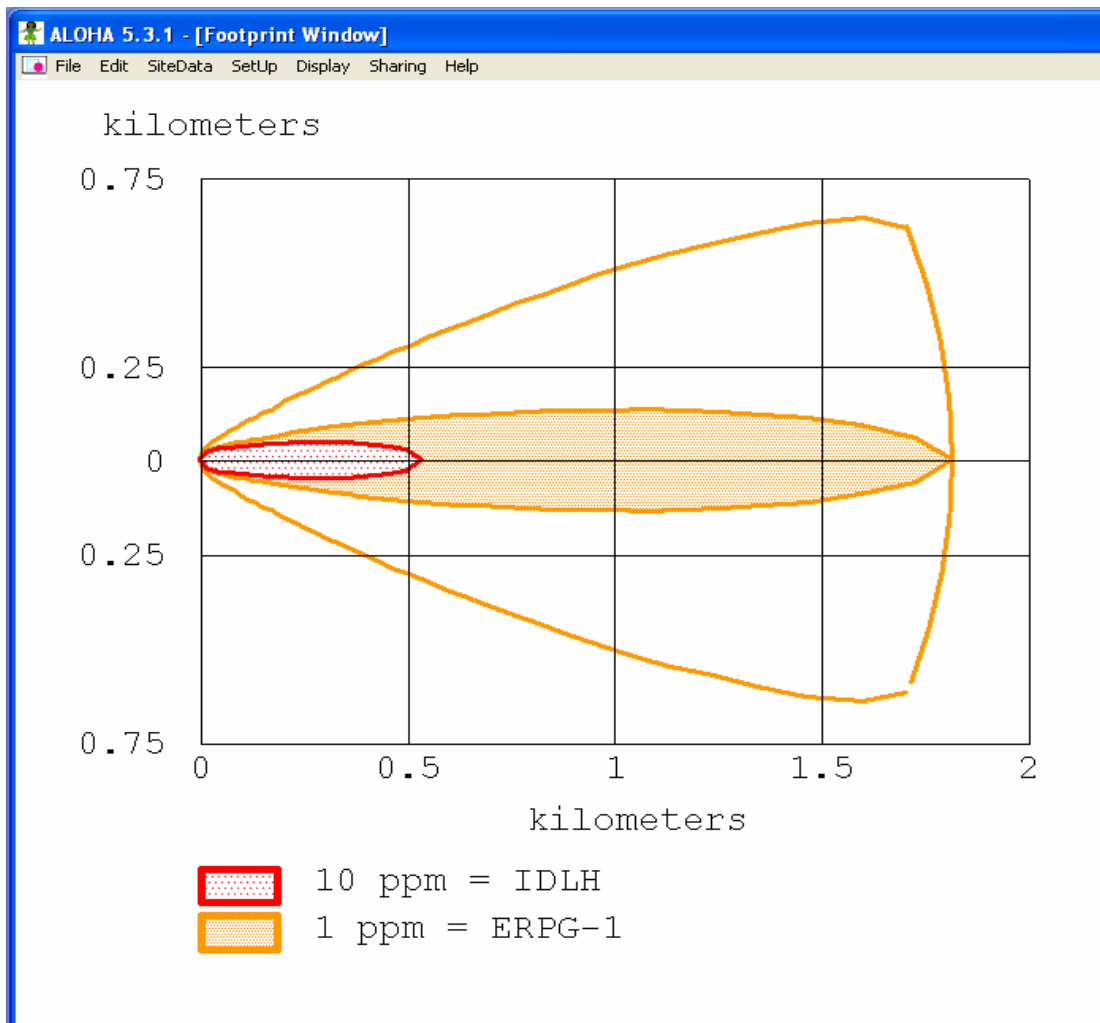












## GLOSARIO Y SIGLAS

**Accidente:** Es cualquier evento no deseado que causa un daño material o humano. De acuerdo al campo de aplicación existen diferentes criterios por ejemplo, en el transporte terrestre de sustancias y materiales peligrosos se considera accidente, cuando no existe liberación de la sustancia transportada, y cuando se presenta una liberación se considera como incidente.

**Accidente de alto riesgo ambiental:** Es una explosión, incendio, fuga o derrame súbito que resulte de un proceso en el curso de las actividades de cualquier establecimiento, así como en ductos, en los que intervengan uno o varios materiales o sustancias peligrosas y que representen un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas.

**Área de afectación:** Representa el área geográfica estimada que puede ser potencialmente afectada por la liberación de una sustancia química peligrosa en niveles que pueden causar daños agudos a la salud o la muerte de las poblaciones humanas por efectos de una liberación accidental.

**Consecuencia:** Una medida de los efectos esperados que resultan de un incidente.

**Contaminante:** Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición y condición natural.

**Daño:** Se define como, patologías o lesiones sufridas con motivo y ocasión del trabajo. Para que este un riesgo no llegue a producirse en daño para el trabajador se utilizarán un conjunto de conocimientos, técnicas y medidas en todas las fases de la actividad, las cuales se engloban dentro del concepto de prevención.

**Dispersión:** Fenómeno que determina la magnitud de la concentración resultante y el área de impacto, en el cual los contaminantes se van a dispersar y diluir según las condiciones meteorológicas y geográficas del lugar donde fueron liberados o generados.

**Dosis:** Cantidad de sustancia administrada a un organismo que puede producir un efecto.

**Emisión:** Descarga de contaminantes a la atmósfera provenientes de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves y barcos.

**Evento:** Es un fenómeno natural, antrópico o tecnológico, que actúa como el detonante de los efectos adversos sobre las vidas humanas, la salud y/o la infraestructura económica y social de una comunidad.

**IDLH.** (Inmediatamente peligrosa para la vida o la salud). La máxima concentración a la cual puede exponerse un trabajador durante menos de 30 min. y escapar sin ningún síntoma de daño o efecto irreversible a la salud. Se emplea para la selección de equipo de respiración. También, condiciones IDLH y condiciones que puedan conducir a una exposición IDLH.

**Incidente:** Evento no deseado que podría causar algún daño, como resultado de la pérdida de contención de material o energía.

**Peligro:** Se define como una o más condiciones físicas o químicas, con posibilidad de causar daños a las personas, a la propiedad, al ambiente o una combinación de ambos.

**Radiación:** Propagación de energía, ya sea en forma de partículas veloces o de ondas, a través de la materia y el espacio.

**Riesgo:** Se define como el producto de la probabilidad de que ocurra un suceso por la magnitud de sus consecuencias.

$$R = P \times C$$

También se define como medida de la pérdida económica y/o de daños para la vida humana, resultante de la combinación entre la frecuencia de la ocurrencia y la magnitud de las pérdidas o daños (consecuencias).

**Sustancia explosiva:** Aquélla que en forma espontánea o por acción de alguna forma de energía, genera una gran cantidad de calor y energía de presión en forma casi instantánea.

**Sustancia inflamable:** Aquélla que es capaz de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales para prenderse espontáneamente o por la acción de una chispa.

**Sustancia peligrosa:** Aquélla que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, radiactividad, corrosividad o acción biológica puede ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

**Sustancia tóxica:** Aquélla que puede producir en organismos vivos, lesiones, enfermedades, implicaciones genéticas o muerte.

**TLV Valor límite umbral.** Término usado por la ACGIH para expresar la concentración en el aire de un material, a la cual casi todos los trabajadores pueden ser expuestos día tras día sin ningún efecto adverso. TLV<sub>8</sub> es la concentración promedio ponderada en tiempo permitida para un día normal de trabajo de 8 horas o 40 horas a la semana; TLV<sub>15</sub> es el límite de exposición en corto plazo o la concentración máxima para una exposición continua por un periodo de 15 minutos (con máximo de 4 periodos por día., con 60 minutos de descanso entre los periodos de exposición, y asumiendo que el TLV<sub>15</sub> no se exceda).

**Toxicidad:** Capacidad inherente de un agente químico para producir un efecto nocivo sobre los organismos vivos.

**Vulnerabilidad:** Es la propensión de un sistema o un grupo de personas a sufrir afectaciones de diversa índole. En términos cuantitativos, la vulnerabilidad de un recurso es una medida de la mayor o menor dificultad con que este puede deteriorarse, cuando se expone a una actividad humana o natural potencialmente contaminante o degenerativa.

CLAM	Comités Locales de Ayuda Mutua
COAAPPA	Comité de Análisis y Aprobación de los Programas para la Prevención de Accidentes
DOT	Departamento de Transporte de EE.UU.
EPA	Ley de Protección Ambiental (Canadá).
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
NIOSH	Instituto Nacional para la Seguridad y Salud Ocupacional.
OSHA	Administración de Seguridad y Salud en el Trabajo (Parte del Departamento de EE.UU.)
PPA	Programa para la Prevención de Accidentes
SCT	Secretaría de Comunicación y Transporte
SECOFI	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial
SEGOB	Secretaría de Gobernación
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SEMIP	Secretarías de: Energía, Minas e Industria Paraestatal
SSA	Secretaría de Salud
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social



## BIBLIOGRAFIA

1. Definición de sustancia peligrosa  
[http://www.disaster-info-net/quimicos/index\\_folder/word\\_html](http://www.disaster-info-net/quimicos/index_folder/word_html) (2004)
2. NOM-018-STPS-2000 “Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo” Diario Oficial de la Federación, 27 de Octubre de 2000, México.
3. Almacenamiento “Manual de Productos Peligrosos”  
<http://www2.udel.cl/sqrt/cursos/sustpel/indicesuspel.html>
4. Perry, Robert H., Manual del Ingeniero Químico. 3ra. edición. México DF.: editorial McGraw Hill Interamericana, 1992.
5. Almacenamiento de Amoniaco Anhidro “ITC MIE APQ-4”  
Ministerio de Ciencia y Tecnología  
BOE No. 112 del 10 de mayo de 2001 (se puede obtener en la dirección)  
[http://www.mtas.es/insht/legislation/RD/APQ\\_004.htm](http://www.mtas.es/insht/legislation/RD/APQ_004.htm)
6. Almacenamiento de Cloro “ITC MIE APQ-3”  
Ministerio del Ciencia y Tecnología  
BOE No. 112 de 10 de mayo de 2001 (se puede obtener en la dirección)  
[http://www.mtas.es/insht/legislation/RD/APQ\\_003.htm](http://www.mtas.es/insht/legislation/RD/APQ_003.htm)
7. Guía para la elaboración del Estudio de Riesgo  
(se puede obtener en la dirección) <http://www.segam.gob.mx/formatos/Riesgo.doc>
8. Adolfo Rodella Lisa. Seguridad e higiene en el trabajo, Barcelona, España: Editorial Marcombo, (1988).
9. Curso Análisis de Riesgos, México DF. 29-31 de marzo de 1995 ITSEMAP Instituto Tecnológico de Seguridad MAPFRC.
10. Curso sobre Análisis de Riesgo ITSEMAP  
Cd. de México 29-31 Marzo de 1995  
Introducción a los métodos de evaluación de riesgos
11. Guía para la elaboración de Programas para la Prevención de Accidentes (PPA)  
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 01 de septiembre 2004  
(se puede obtener en la dirección)  
<http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/ppas/guiappa.shtml>
12. Dispersión de nubes tóxicas o inflamables  
Los autores, edicions UPC, 1999.

13. NTP (Notas Técnicas de Prevención) 329: Modelos de dispersión de gases y/o vapores en la atmósfera.  
Redactores: Ing. Turmo Sierra Emilio, Ing. Cuscó Vidal José María. Madrid, España.  
(se puede obtener en la dirección) [http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_329.htm](http://internet.mtas.es/insht/ntp/ntp_329.htm)
14. Manual de SCRI (Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias)  
Desarrollado por Sistemas Heurísticos, S.A. de C.V. México, D.F.  
Versión 2.0. Enero de 1993.
15. Guidelines for chemical process quantitative risk análisis  
Publications available from the Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.1989.
16. NTP (Notas Técnicas de Prevención) 321: Explosiones de nubes de vapor no confinadas  
Redactor: Ing. Turmo Sierra Emilio. Madrid, España.  
(se puede obtener en la dirección) [http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp\\_321.htm](http://www.mtas.es/insht/ntp/ntp_321.htm)
17. Informe Técnico “Identificación de peligros por almacenamiento de sustancias químicas en industrias de alto riesgo en México”  
M. en I. Arcos Serrano María Esther  
M. en I. Izcapa Treviño Cecilia  
Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED).  
Subdirección de Riesgos Químicos, Noviembre 2003, México.
18. Manual del cloro (2004)  
Adaptación de “The chlorine manual-sixth Edition, January 1997” hecha por CLOROSUR con la autorización de The Chlorine Institute, Inc.
19. Manual de ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres, por sus siglas en inglés)  
(se puede obtener en la dirección) (<http://www.epa.gov/ceppo/cameo/pubs/aloha.pdf>) (2004)
20. ALOHA and ARCHIE a Comparison  
Mary Evans, Report No. HAZMAT 93-2, April 1993 (se puede obtener en la dirección)  
[http://response.restoration.noaa.gov/book\\_shelf/983\\_AlohArch.pdf](http://response.restoration.noaa.gov/book_shelf/983_AlohArch.pdf)
21. Manual de ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation, por sus siglas en inglés) (se puede obtener en la dirección)  
[http://hazmat.dot.gov/riskmgmt/tools/risk\\_tools.htm](http://hazmat.dot.gov/riskmgmt/tools/risk_tools.htm)
22. Revisión de Estudios de Riesgo y Programas de Prevención de Accidentes de las industrias de alto riesgo en México en la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).
23. International Conference and workshop on modeling the consequences of accidental releases of hazardous materials.  
September 28 – october 1, 1999.  
Grand Hyatt San Francisco on Union Square  
San Francisco, California.  
AICHE Center for Chemical Process Safety

**Direcciones electrónicas consultadas**

24. Emergencias Ambientales Asociadas con Sustancias Químicas en México  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/gacetas/381/sarmiento.html> (2005)
25. Clasificación de la Actividades Altamente Riesgosas  
<http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/clasificacion/clasificacion.shtm>
26. Clasificación de las Actividades Riesgosas  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/132/clasificacion.html> (2005)
27. Estudios de Riesgo  
<http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/estudios/estudios.shtml> (2005)
28. Definición de Riesgo Ambiental  
[http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/definicion\\_ra/definicion\\_ra.shtml](http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/definicion_ra/definicion_ra.shtml) (2003)
29. Definición de los Accidentes de Alto Riesgo Ambiental  
[http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/definicion\\_aara/definicion\\_aara.shtml](http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/definicion_aara/definicion_aara.shtml) (2003)
30. Riesgo Ambiental  
[http://new.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/30/p2impacto.html?ib\\_pub=30&id\\_tema=98dir=Consultas](http://new.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/30/p2impacto.html?ib_pub=30&id_tema=98dir=Consultas) (2005)
31. Métodos comparativos de análisis de riesgo  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_riesgo/An\\_riesgo.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/An_riesgo.htm) (2001)
32. Avances en la Administración de las Actividades Altamente Riesgosas  
<http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/132/avances.html> (2005)
33. Zonas de Salvaguardia  
<http://www.semarnat.gob.mx/dgmic/rpaar/aar/zis/zis.shtml> (2003)
34. Metodología para el análisis de consecuencias  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/Metodos.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Metodos.htm) (2001)
35. Fugas en recipientes y conducciones  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/Fugas.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Fugas.htm) (2001)
36. Evaporación de Líquidos Derramados  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/Evaporacion.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Evaporacion.htm) (2001)
37. Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/Dispersion.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Dispersion.htm) (2001)
38. Incendio de Charco  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/Charco.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Charco.htm) (2001)
39. Dardo de fuego  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/Dardo.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Dardo.htm) (2001)

40. Explosión BLEVE  
[http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_conse/BLEVE.htm#Bola\\_fuego](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/BLEVE.htm#Bola_fuego) (2001)
41. Generalidades del Amoniaco (TextosCientificos.com)  
<http://www.textoscientificos.com/quimica/amoniaco>
42. Usos del Amoniaco (TextosCientificos.com)  
<http://www.textoscientificos.com/quimica/amoniaco/produccion>
43. Amoniaco Hoja de datos de seguridad para materiales peligrosos  
Petroquímica Cosoleacaque, S.A. de C.V.
44. Amoniaco Hoja de datos de seguridad para materiales peligrosos  
Productos pesqueros industrializados, S.A. de C.V.
45. Manejo seguro de Amoniaco líquido nasd (National AG Safety Database)  
<http://www.cdc.gov/nasd/docs/d001701-d001800/d001719/d001719-s.html>
46. Organización de Usuarios y Trabajadores de la Química del Cloro  
[http://www.amiclor.org/opciones/info\\_clor.shtml#cloro3](http://www.amiclor.org/opciones/info_clor.shtml#cloro3) (1997)
47. Cloro Hoja de datos de seguridad para materiales peligrosos  
Cloro de Tehuantepec, S.A. de C.V.
48. Cloro “Medidas de Seguridad”  
<http://www.cepis-ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap11.pdf>
49. Cloro “Medidas de seguridad”  
<http://www.cepis-ops-oms.org/bvsatr/fulltext/operacion/cap1/.pdf>
50. Gas Licuado de Petróleo “Generalidades, Medidas de Seguridad”  
(Secretaría del Medio Ambiente, Gobierno del D.F.)  
<http://www.sma.df.gob.mx/sma/modules.php?name=News&file=article&sid=156>
51. Gas Licuado de Petróleo “Usos”  
(Secretaría Energía)  
[http://www.energia.gob.mx/wb2/Sener/Sene\\_177\\_gas\\_lp](http://www.energia.gob.mx/wb2/Sener/Sene_177_gas_lp) (2005)
52. Gas Licuado de Petróleo Hoja de datos de seguridad para materiales peligrosos  
Productos pesqueros industrializados, S.A. de C.V.