



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

***“APLICACIÓN DE SISTEMAS DE  
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG) A  
EMERGENCIAS DE NH<sub>3</sub> EN MÉXICO”***

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA QUÍMICA**

PRESENTA:

**CAROLINA BENHUMEA SÁNCHEZ**



MÉXICO, D.F.

2014



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.

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE: Profesor: ENRIQUE ADELAIDO BRAVO MEDINA**

**VOCAL: Profesor: EDUARDO GUILLERMO RAMÓN  
MARAMBIO DENNETT**

**SECRETARIO: Profesor: ARMANDO RAMÍREZ RODRÍGUEZ**

**1er. SUPLENTE: Profesor: MARIO ALFREDO GARCÍA CARRILLO**

**2o. SUPLENTE: Profesor: ALMA DELIA ROJAS RODRÍGUEZ**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**FACULTAD DE QUIMICA, UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

**M. en C. EDUARDO GUILLERMO RAMON MARAMBIO DENNETT**

---

**SUPERVISOR DEL TEMA:**

**NO HAY**

**SUSTENTANTE:**

**CAROLINA BENHUMEA SÁNCHEZ**





# ÍNDICE

## Contenido

ÍNDICE DE FIGURAS .....	7
ÍNDICE DE TABLAS .....	8
1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1. AVANCES DE MÉXICO .....	9
1.2. OBJETIVOS.....	11
2. MARCO TEÓRICO .....	12
2.1. ESTUDIO DE RIESGO .....	13
2.2. PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES .....	15
2.3. ZONAS INTERMEDIAS DE SALVAGUARDA .....	19
2.4. ATENCIÓN DE EMERGENCIAS QUÍMICAS.....	21
2.5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES .....	25
2.6. MEDIDAS DE ATENCIÓN DE ACCIDENTES .....	28
2.7. PROGRAMA DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS .....	30
2.8. ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN MEXICO .....	34
3. GENERALIDADES DEL AMONIACO:.....	42
3.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS DEL AMONIACO ANHIDRO .	43
3.2. PRINCIPALES USOS DEL AMONIACO .....	44
3.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE AMONIACO.....	44
3.4. NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN:.....	45
3.5. NIVELES DE TOXICIDAD:.....	47
3.6. LIMITE DE EXPOSICIÓN LABORAL .....	50

4.	ALMACENAMIENTO DE AMONIACO.....	51
4.1.	CRITERIOS DE ALMACENAMIENTO: .....	51
4.2.	DESCRIPCIÓN DE CARROTANQUE, AUTOTANQUES Y CILINDROS .....	54
4.3.	TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN SUPERFICIE (PEMEX) .....	58
5.	MODELOS DE DISPERSIÓN .....	59
5.1.	ALOHA .....	61
5.2.	EJEMPLO DE ALOHA; MODELACIÓN DE UNA NUBE DE VAPOR TÓXICO USANDO CLORO COMO SUSTANCIA MODELO.....	62
6.	PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS .....	67
6.1.	SIMULACIÓN DE FUGAS DE AMONIACO CON TANQUES DE DISTINTAS CAPACIDADES.....	67
6.2.	EJEMPLOS.....	69
6.3.	APLICACIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA .....	74
6.4.	PROPUESTA CON AMONIACO .....	74
7.	RECOMENDACIONES .....	79
8.	CONCLUSIONES .....	80
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	81
10.	ANEXO.....	82

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Accidentes ocurridos en producción y almacenamiento.....	27
Figura 2. Químicos que sufren mayor número de accidentes en el transporte.....	28
Figura 3. Distribución porcentual de Gas L.P. en México.....	37
Figura 4. Distribución porcentual de Amoniaco en México.....	38
Figura 5. Distribución porcentual de Ácido Sulfúrico en México.....	39
Figura 6. Distribución porcentual de Cloro en México.....	40
Figura 7. Número de almacenamiento de sustancias químicas totales por estado.....	41
Figura 8. Número de identificación de transportes acuerdo al DOT.....	52
Figura 9. Identificación de carrotanques.....	53
Figura 10. Identificación de autotanques.....	53
Figura 11. Ubicación de zonas en el área afectada por la fuga en el tanque del almacén de hielo (1/2").....	75
Figura 12. Datos de población afectada, proporcionados por el INEGI de acuerdo a las zonas de afectación con la superposición de los círculos correspondientes a las áreas de ALOHA (1/2") .....	76
Figura 13. Datos de población en la zona roja, área de primera instancia en emergencia (1/2").....	76
Figura 14. Ubicación de zonas en el área afectada por la fuga en el tanque del almacén de hielo (1").....	77
Figura 15. Datos de población afectada, proporcionados por el INEGI de acuerdo a las zonas de afectación con la superposición de los círculos correspondientes a las áreas de ALOHA (1").....	78
Figura 16. Datos de población en la zona roja, área de primera instancia en emergencia (1").....	78



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Sustancias químicas más peligrosas y porcentajes de almacenamiento por estado.....	36
Tabla 2. Volumen de Gas L.P. en algunos estados de la República.....	37
Tabla 3. Volumen de Amoniaco en algunos estados de la República.....	38
Tabla 4. Volumen de Ácido Sulfúrico en algunos estados de la República.....	39
Tabla 5. Volumen de Cloro en algunos estados de la República.....	40
Tabla 6. Propiedades físicas y termodinámicas del amoniaco anhidro.....	42
Tabla 7. Valores típicos de AEGL en mg/m <sup>3</sup> y ppm.....	48
Tabla 8. Valores de ERPG en minutos y mg/m <sup>3</sup> .....	49
Tabla 9. Descripción de carrotanques.....	54
Tabla 10. Descripción autotanque.....	56
Tabla 11. Descripción cilindros.....	57
Tabla 12. Resultados de simulaciones en ALOHA con tanques que presenten orificio con 0.5 pulgadas de diámetro de ruptura.....	68
Tabla 13. Resultados de ALOHA para una ruptura de ½”.....	69
Tabla 14. Resultados de ALOHA para una ruptura de 1”.....	69
Tabla 15. Población por manzanas en la Delegación Xochimilco. (sólo una sección).....	82

# 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la ciencia, así como el avance tecnológico en nuestra época, ha generado una demanda en la producción, almacenamiento, transporte y utilización de los productos químicos, lo que trae como riesgo la posibilidad de que ocurran accidentes en alguna de estas etapas.

Por lo tanto, es necesario conocer a nivel nacional, los sitios vulnerables a la ocurrencia de accidentes, así como contar con políticas públicas de prevención de accidentes químicos que permita conocer las zonas de mayor riesgo, así como el desarrollo de acciones de emergencia y rehabilitación de áreas dañadas.

Para estimar los riesgos potenciales de los accidentes químicos es necesario conocer las circunstancias en las que ocurrieron, con el fin de identificar las consecuencias materiales, los efectos a la salud, con el objetivo de prevenir éstos y corregir errores, además de reforzar las medidas de seguridad. En este proceso, es fundamental el conocimiento del ambiente, sus características y el grado de vulnerabilidad de la zona para evaluar la extensión de los efectos de una emisión de agentes químicos.

## 1.1. AVANCES DE MÉXICO

Hasta 1985 nuestro país tenía muy poca información estadística sobre desastres, pérdidas humanas y materiales, así como de las medidas adoptadas para la atención y control de estos fenómenos, por ésto se creó el Sistema de Base de Datos de Accidentes Químicos (Acquim). A este sistema se incorporó la suministrada por el Sistema Nacional de Protección Civil (SINAPROC) creado por Ley en 1982 y del Sistema de Emergencias en Transporte para la Industria Química (SETIQ). Sin embargo, la mayoría de las veces, la información acerca de los accidentes químicos es incompleta, confusa o contradictoria.

Continuando con el avance en la cultura de prevención de desastres, el 20 de Septiembre de 1988, se creó el Centro Nacional de Prevención de Desastres, CENAPRED, con carácter de órgano administrativo desconcentrado, jerárquicamente subordinado a la Secretaría de Gobernación. Con el apoyo económico y técnico del Japón se construyeron las instalaciones del Centro; la UNAM aportó el terreno para su construcción y proporciona personal académico y técnico especializado y la Secretaría de Gobernación provee los recursos para su operación.

El CENAPRED es el órgano encargado de aglutinar los esfuerzos de autoridades de los tres órdenes de gobierno, así como de la ciudadanía y de las empresas involucradas en prevenir, atacar y corregir los efectos de los posibles desastres geológicos, hidrometeorológicos, químicos-tecnológicos y sanitarios-ecológicos.

Es de destacar que el CENAPRED ha elaborado Informes Técnicos en: Metodología para la evaluación del riesgo en el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos, Área de Riesgos Químicos; Planeación y evaluación de las capacidades de respuesta ante emergencias con materiales y residuos peligrosos. Área de Riesgos Químicos; visitas de campo directa con las autoridades locales; se han elaborado mapas sobre muertes y pérdidas económicas a nivel estatal incluyendo información comprendida entre los años 2000 a 2010, mapas de zonas de riesgos de diversos fenómenos, entre otras avances en materia de prevención y contención de este tipo de fenómenos.

En la parte que interesa al presente trabajo, el CENAPRED menciona en su página de web que *“La afectación debido a un accidente químico depende de diversos factores como son la sustancia química involucrada, la cantidad de sustancia liberada, la distancia y distribución de los asentamientos humanos alrededor de la empresa, la dirección y velocidad del viento, las condiciones climatológicas, la existencia y efectividad de equipo de control y combate de la emergencia, y la existencia de personal capacitado para atender el evento.*

*Los accidentes químicos tienen efectos negativos sobre:*

*La salud de la población a corto y a largo plazo, produciendo efectos agudos por ejemplo: irritación de ojos, piel, tracto respiratorio, náusea, vómito, daño renal, hepático, gastrointestinal, respiratorio o neurológico e inclusive la muerte.*

*El ambiente, ya que se puede contaminar el agua superficial y subterránea, el suelo, el aire, presentarse daño o muerte de plantas, animales y microorganismos, también puede haber contaminación de cultivos.*

*La economía local, ya que puede haber suspensión de la actividad productiva de la instalación afectada, importantes pérdidas materiales de la industria en equipos, construcciones, etc. Pérdida de empleos directos e indirectos, gastos por reconstrucción de viviendas y servicios públicos en caso de haber sufrido daños y para el auxilio de la población afectada. “*

Asimismo, el CENAPRED en materia de almacenamientos de sustancias químicas, estableció requisitos mínimos de seguridad, precauciones básicas para el diseño y

operación de los mismos, así como la obligación de mantener capacitado al personal que opera dichos almacenamientos.

Sin embargo, a pesar de todos estos avances en materia de prevención, contención y corrección en las consecuencias de este tipo de fenómenos, en particular en emergencias de amoniaco en México, hasta la fecha son insuficientes por la falta de coordinación de autoridades de los tres órdenes de gobierno, de cultura de prevención de riesgos en nuestro país, así como la falta de responsabilidad social de las empresas que se dedican a la producción, traslado, almacenamiento y utilización de este agente químico de tan delicado manejo, como lo es el amoniaco.

En ese orden de ideas, la finalidad en la aplicación de un Sistema de Información Geográfica a emergencias de amoniaco en México, es contar con material de consulta, para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada disponible con el fin de prevenir, controlar y restaurar los efectos nocivos de una emergencia de amoniaco en nuestro país.

## **1.2. OBJETIVOS**

- 1.- Integrar en un mapa la información obtenida por un modelo de dispersión de una fuga en un contenedor de amoniaco y los datos de sistemas de información geográfica obtenidos por el INEGI con la finalidad de controlar los efectos en caso de una emergencia en nuestro país.
- 2.- Proponer un sistema para la mitigación de efectos por fugas de amoniaco.

## 2. MARCO TEÓRICO

De acuerdo con la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, previa opinión de las Secretarías de Energía, de Economía, de Salud, de Gobernación, y del Trabajo y Previsión Social, establece la clasificación de las actividades que deben considerarse como altamente riesgosas para el equilibrio ecológico, con base en las características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, de los materiales que se generen o manejen en las industrias, comercios o servicios, considerando además, los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento.

Hasta la fecha se han publicado en el Diario Oficial de la Federación dos listados sobre las sustancias tóxicas, explosivas e inflamables, (cuyo manejo dentro de instalaciones industriales, comerciales y de servicio de las sustancias sea igual o superior a la cantidad de reporte establecida en los listados) determinan la actividad como altamente riesgosa. El Primer Listado se refiere al manejo de sustancias tóxicas y se publicó el 28 de marzo de 1990, el Segundo Listado se refiere al manejo de sustancias inflamables y explosivas y fue publicado el 4 de mayo de 1992.

La cantidad de reporte se define como la cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transporte dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana, ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

El Artículo 147 de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, establece que “la realización de actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevarán 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 en los términos del Reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la Secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las Secretarías de Gobernación, de Energía, de Comercio y Fomento Industrial, de Salud y del Trabajo y Previsión Social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos”.

Asimismo, el Artículo 30 de la misma Ley, establece que “cuando se trate de actividades consideradas altamente riesgosas en los términos de la presente Ley, la manifestación de

impacto ambiental para nuevos proyectos, deberá incluir el estudio de riesgo correspondiente”.

De esta manera, tanto los nuevos proyectos, como las instalaciones en operación que realicen actividades altamente peligrosas, están obligados a presentar dicho estudio.

## **2.1. ESTUDIO DE RIESGO**

Éste consiste en la realización de una evaluación técnica y cuantitativa de los posibles riesgos a que está sometida una instalación industrial y la determinación de las consecuencias en caso de ocurrir un accidente.

El riesgo ambiental se define como la probabilidad de que ocurran accidentes mayores que involucren a los materiales peligrosos que se manejan en las empresas que realizan actividades altamente peligrosas, que puedan trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes y al ambiente. 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 (DGMIC, 2002).

En este contexto, se entiende como accidente de alto riesgo ambiental:

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 peligrosos y que suponga un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes y al ambiente. A este tipo de accidentes se les considera también como accidentes mayores (DGMIC, 2002)

El nivel de complejidad del estudio de riesgo está en función de la actividad que realice la instalación y ésto se determina de acuerdo con 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 (Nivel 1, 2 y 3) y un nivel específico para el caso de ductos terrestres (Nivel 0).

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 mismo es la siguiente:

- Datos generales de la empresa: dirección, actividad, giro industrial, número de trabajadores, nombre y datos del responsable de la instalación y del estudio.
- Descripción general de la instalación: especificación de la actividad, ubicación de la instalación con planos, actividades en los alrededores, zonas vulnerables, infraestructura, autorizaciones con que cuenta.
- Aspectos del medio natural y socioeconómico: detalles del entorno, flora, fauna, suelo, aire, agua, características climáticas, densidad demográfica, actividades en los alrededores, susceptibilidad a sismos, huracanes, inundaciones, derrumbes y erosión.
- Integración del proyecto a las políticas marcadas en el programa de desarrollo urbano local.
- Descripción del proceso: criterios de diseño, 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 tubería e instrumentación.
- Análisis y evaluación de riesgos: identificación y jerarquización de los mismos en áreas de proceso, almacenamiento y transporte, determinación de radios potenciales de afectación, representación en mapas de las zonas peligrosas y amortiguamiento, análisis de posibles interacciones con otras áreas o instalaciones próximas, recomendaciones técnico operativas para mitigar riesgos, resultados de la última auditoría de seguridad, equipos y sistemas de seguridad y medidas preventivas para evitar el deterioro al ambiente.
- Conclusiones y recomendaciones: resumen ejecutivo del estudio de riesgo, informe técnico del mismo y conclusiones derivadas de él.
- Anexo fotográfico de las instalaciones: áreas o equipos críticos, así como de la ubicación de la instalación, señalando colindancias y puntos de interés.

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

Lista de verificación (Check list)

- ¿Qué pasa sí? (What if?)
- Análisis de Modo, Falla y Efecto (AMFE)

- Estudio de Riesgo y Operabilidad (HAZOP)
- Árbol de Fallas
- Árbol de Eventos
- Índice Dow
- Índice Mond

Para la determinación de 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 actualmente son:

- PHAST ( Process Hazard Analysis Software Tool, por sus siglas en inglés)
- TRACE (Toxic Release Analysis Chemical Emissions, por sus siglas en inglés)
- SCRI (Simulación de Contaminación y Riesgos en Industrias)
- ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation, por sus siglas en inglés)
- ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres, 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)

## **2.2. PROGRAMA DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

De acuerdo a lo explicado anteriormente, a partir de 1996 cuando se modificó la LGEEPA, quedó establecido como obligatorio que las instalaciones que realicen actividades altamente riesgosas deben formular y presentar ante la SEMARNAT un estudio de riesgo ambiental, así como un programa para la prevención de accidentes (PPA), este último es evaluado para su aprobación por el Comité de Análisis y Aprobación de los Programas de Prevención de Accidentes (COAAPPA), integrado por las Secretarías de Medio Ambiente



y Recursos Naturales, de Gobernación, de Energía, de Economía, de Salud y del Trabajo y Previsión Social, el cual se integró en 1989.

Un Programa para la Prevención de Accidentes, es un sistema especializado basado en los resultados obtenidos en el Estudio de Riesgo Ambiental, que integra la organización, los recursos humanos y materiales, planes, procedimientos, medidas y acciones preventivas y de preparación de la respuesta a emergencias que involucran 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 (DGMIC, 2002).

Actualmente, existe una guía donde se proporcionan las bases para que la industria desarrolle dicho programa. Una vez que el COAAPPA autoriza los programas, éstos se deben implementar a nivel local con la participación de la Unidad de Protección Civil, autoridades, comunidad, empresas aledañas y demás instituciones relacionadas con aspectos de seguridad, y atención a la población y al ambiente.

Los criterios empleados para la elaboración de los PPA's se basan en la posibilidad de que ocurran contingencias provocadas por el manejo de sustancias peligrosas y la necesidad de contar con planes, procedimientos, recursos y programas adecuados para evitar que la liberación de sustancias peligrosas tenga consecuencias que puedan afectar a la población.

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

a) Antecedentes Generales de la Empresa

En esta sección se solicita información general 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, así como una descripción de 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 misma e 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.

#### b) Nivel Interno del Plan

Esta parte del programa se refiere a la respuesta ante una emergencia considerando que no exista un efecto adverso en 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 y 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 fugas y derrames, equipo de protección personal, de primeros auxilios y de comunicación y alarma, unidades de transporte de personal, rutas de evacuación, centros de reunión y equipo y materiales para descontaminación.
- 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 a los que está expuesta la empresa.

#### c) 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 contingencia.
- 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 especifica quien es 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, carros 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 destinadas a ello dirigidas hacia el exterior de la planta y hasta el límite de la distancia mayor obtenida en el estudio de riesgo. Asimismo, deben indicarse las áreas o instalaciones que podrían utilizarse como zonas de concentración y aquellas 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 del personal responsable 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.

Con la finalidad de mejorar la respuesta en caso de un accidente mayor, las empresas ubicadas en una misma región se organizan para formar un Grupo de Ayuda Mutua, mediante el cual se apoyan para la atención de la emergencia cuando ésta rebasa la capacidad de respuesta de los integrantes solos, representando una afectación a las demás instalaciones y a la población de los alrededores.

De esta manera, las industrias comparten equipos, personal capacitado de las brigadas y se preparan de manera conjunta para atender una emergencia, estableciendo la forma para activar el plan externo mediante el sistema de comunicación y alarma y

desarrollando los procedimientos de respuesta a emergencias en los que se establecen las funciones y responsabilidades de cada empresa.

Los Grupos de Ayuda Mutua deben estar integrados no solo por las empresas aledañas sino también involucrar a las autoridades municipales y estatales, a la población de los alrededores, y a los organismos e instituciones del sector público y privado.

Debe presentarse una copia del programa para la prevención de accidentes de la empresa a las autoridades de Protección Civil locales, para que tengan conocimiento de las actividades altamente riesgosas que llevan a cabo las empresas de su localidad.

El ingreso de los PPA's ante la SEMARNAT se da por el cumplimiento de las empresas a las disposiciones de la Ley, y cuando ésto no es así, por requerimiento de las Delegaciones Estatales de la PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente), derivado de las inspecciones y auditorías ambientales; y por requerimiento de la SEMARNAT a través de las resoluciones en materia de riesgo e impacto ambiental, tratándose de actividades altamente riesgosas.

### **2.3. ZONAS INTERMEDIAS DE SALVAGUARDA**

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 de 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;
- 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.

## **2.4. ATENCIÓN DE EMERGENCIAS QUÍMICAS**

En las últimas décadas, en México ha habido un aumento en la población en zonas urbanas disminuyendo aquella ubicada en áreas rurales aunado a un crecimiento industrial. Sin embargo, el crecimiento de los centros de población ha sido generalmente en forma desordenada, sin planeación alguna ni respetando las disposiciones y regulaciones sobre uso de suelo, zonas de reserva ecológica, zonas vulnerables a fenómenos naturales y demás consideraciones establecidas en los Programas de Desarrollo Urbano.

La actividad productiva en las diferentes instalaciones industriales, generalmente implica el almacenamiento de sustancias químicas, en numerosas ocasiones en grandes volúmenes, siendo muchas de ellas peligrosas, porque poseen características de toxicidad, inflamabilidad, explosividad y/o corrosividad representando un peligro para la salud humana y/o el medio ambiente.

El almacenamiento y procesamiento de grandes cantidades de sustancias químicas peligrosas en las industrias, representan un riesgo, en caso de presentarse un accidente en el que haya liberación de una o más de estas sustancias, para la salud humana y/o el ambiente a corto o largo plazo. Los eventos que pueden presentarse incluyen incendios, explosiones, fugas o derrames de sustancias químicas los cuales pueden provocar lesión, enfermedad, intoxicación, invalidez o muerte de seres humanos que habiten en los alrededores de las industrias y de los trabajadores que laboran en ellas.

Un accidente químico se puede definir como la ocurrencia de un evento mayor ya sea fuga, derrame, incendio o explosión de una o más sustancias químicas peligrosas, como resultado de una situación fuera de control dentro de las actividades industriales normales de almacenamiento, procesamiento o transferencia, que ocasiona un daño serio a las personas, el ambiente o las instalaciones de manera inmediata o a largo plazo.

Generalmente las diferentes zonas industriales del país, están rodeadas de centros de población cuyos habitantes están expuestos a las consecuencias derivadas de un accidente químico. Cuando existe liberación de una o más sustancias peligrosas o se forman compuestos peligrosos como producto de la combustión en el caso de un incendio, la exposición de la población a estas sustancias puede provocar una enfermedad o la posibilidad de ésta en el corto tiempo por exposición aguda; siendo a veces reducido el número de personas afectadas. Sin embargo, puede haber enfermedad, incapacidad o muerte en un lapso considerable inclusive de años, aumentando de esta manera el número real de afectados como consecuencia del accidente.

En algunas ocasiones también se presenta contaminación del agua y del suelo, introduciéndose los contaminantes a la cadena alimenticia de manera que pueden afectar a poblaciones más alejadas del sitio donde ocurre el accidente por el consumo de alimentos o agua contaminada, aumentando el número de afectados tiempo después de sucedido el evento.

La afectación debido a un accidente químico depende de diversos factores por ejemplo: la sustancia química involucrada, la cantidad de sustancia liberada, la distancia y distribución de los asentamientos humanos alrededor de la empresa, las condiciones climatológicas, la existencia y efectividad de equipo de control y combate de la emergencia, y la presencia de personal capacitado para atender el evento.

Generalmente los trabajadores en la escena de un accidente son quienes están en un mayor riesgo desde el principio. También pueden estar en peligro, si no cuentan con la protección adecuada, los primeros en atender la emergencia como bomberos, policías y personal de rescate. El personal de salud es un grupo de alto riesgo que normalmente no se toma en cuenta, que puede estar expuesto aunque esté lejos del lugar del accidente, si los afectados no han sido debidamente descontaminados antes de ser transportados a las instalaciones médicas.

Los accidentes químicos tienen efectos negativos sobre:

- La salud de la población a corto y a largo plazo, produciendo efectos agudos por ejemplo: irritación de ojos, piel, tracto respiratorio, náusea, vómito, daño renal, hepático, gastrointestinal, respiratorio o neurológico.
- El ambiente, ya que se puede contaminar el agua superficial y subterránea, el suelo, el aire, presentarse daño o muerte de plantas, animales y microorganismos; también puede haber contaminación de cultivos.
- La economía local ya que puede haber suspensión de la actividad productiva de la instalación afectada, importantes pérdidas materiales de la industria en equipos, construcciones, etc, pérdida de empleos directos e indirectos, gastos por reconstrucción de viviendas y servicios públicos en caso de haber sufrido daños y para el auxilio de la población afectada.

Las posibles consecuencias ambientales inmediatas de un accidente químico incluyen:

- Liberación a la atmósfera de gases tóxicos o corrosivos, aerosoles o partículas, los cuales pueden dañar los ambientes aéreo, terrestre o acuático.

- Liberación de líquidos o sólidos los cuales afectan adversamente el suelo, corrientes y cuerpos de agua, y la biota.
- Incendios o explosiones que causan daño a las construcciones y al ambiente.

Mientras que las consecuencias inmediatas a la población por un accidente químico son:

- Muerte
- Lesión
- Invalidez
- Intoxicación
- Enfermedad

Desde la perspectiva de la salud de la población, existen varias maneras de clasificar los accidentes químicos; ésto puede hacerse tomando en cuenta la sustancia involucrada, la cantidad liberada, la extensión del área contaminada, el número de personas expuestas o en riesgo, las vías de exposición y las consecuencias médicas o de salud debido a la exposición (OPS, 1998).

a) Sustancia involucrada

Las sustancias químicas involucradas en un accidente pueden agruparse dependiendo de sus características como tóxicas, inflamables, explosivas, oxidantes, corrosivas o radioactivas.

b) Cantidad liberada

Ésta clasificación debe tomar en cuenta las propiedades peligrosas de la sustancia, ya que por ejemplo, igual cantidad liberada de cianuro resulta mucho más peligrosa que de amoníaco.

c) Extensión del área contaminada

Los accidentes pueden clasificarse de acuerdo a si la liberación quedó contenida dentro de una instalación sin daños en el exterior, si hubo afectación en la vecindad inmediata de la planta, en una zona extensa alrededor de la instalación, o si la liberación se dispersó mucho más allá de los alrededores de la empresa.



d) Número de personas expuestas o en riesgo

Los accidentes químicos pueden catalogarse por el número de personas afectadas, en términos de muertes, lesiones y/o evacuados. Vías de exposición

Las vías de exposición son un medio para clasificar los accidentes químicos desde el punto de vista de salud. Existen cuatro principales vías directas de exposición: inhalación, exposición ocular, contacto con la piel e ingestión, pudiéndose presentarse más de una a la vez.

e) Consecuencias médicas o para la salud

Los accidentes químicos también pueden organizarse según las consecuencias médicas o para la salud o en función del sistema/órgano afectado. Ejemplos de esto serían los accidentes que dan origen a efectos cancerígenos, dermatológicos, inmunológicos, hepáticos, neurológicos, pulmonares o teratogénicos.

Sin embargo, la gravedad de un accidente químico no puede determinarse únicamente sobre esta base. Al valorar su gravedad se deben tomar en cuenta todas las circunstancias y consecuencias conocidas.

Los accidentes químicos pueden presentarse por diversas causas, ya sea por la ocurrencia de fenómenos naturales, fallas operativas en las que ocurren desviaciones de las condiciones normales del proceso o bien por errores humanos, estas causas pueden ser accidentales o premeditadas, algunas de ellas se enlistan a continuación:

- Causas naturales tales como sismos, huracanes, inundaciones o erupciones volcánicas.
- Causas operativas, por ejemplo la alteración de las variables del proceso básicamente presión, temperatura, concentración y gasto de alimentación, falla de los equipos de proceso y de la instrumentación, y aquellas debidas al hombre como mala selección de los materiales de construcción de equipos y recipientes de almacenamiento, el tipo de construcciones y materiales, falta de instrumentos de control, inadecuado mantenimiento, errores en el diseño y en sí errores humanos durante la operación de los equipos al no seguir los procedimientos de operación o no cumplir con las normas de seguridad.

## **2.5. MEDIDAS DE PREVENCIÓN DE ACCIDENTES**

Con la finalidad de minimizar o evitar los daños ocasionados por un accidente químico, deben establecerse medidas de prevención de riesgos en aquellas instalaciones industriales que realizan actividades de alto riesgo. Y una vez que lamentablemente el accidente ha tenido lugar, deberán aplicarse medidas de atención de la emergencia.

- Las medidas preventivas son aquellas que tienen como finalidad reducir los niveles originales de riesgo de un accidente a valores socialmente aceptables.
- Las medidas de atención tienen por objeto reducir los efectos a la población, al ambiente y a las instalaciones cuando el accidente ocurre.

No obstante, es esencial contar con la debida preparación para hacer frente a una emergencia aunque es más conveniente realizar esfuerzos para evitar que el evento ocurra o bien mitigar sus efectos de modo que nunca alcance proporciones de emergencia.

Es importante tener en claro que el riesgo total en una industria se puede deber a la naturaleza intrínseca del proceso y de las sustancias químicas que se manejan y a las características del sitio donde se ubica la instalación, entre otros.

Si se identifican anticipadamente las causas que pueden dar lugar a una emergencia y sus consecuencias potenciales, se pueden aplicar medidas para minimizar la probabilidad de eventos que ocasionan una emergencia o reducen el impacto de un incidente sobre la planta o sus alrededores.

A continuación se presentan algunas medidas preventivas y de atención generales dentro de las industrias, de fácil aplicación y costos razonables, independientemente de las medidas específicas que cada instalación industrial adopte derivadas de su estudio de riesgo.

- Llevar a cabo un control de inventarios para evitar la existencia de materiales en exceso, comprando solo las cantidades necesarias de materia prima.
- Reducir en lo posible la existencia de contenedores de sustancias parcialmente llenos.
- Contar con áreas adecuadas para el almacenamiento de materiales peligrosos.

- Habilitar zonas de carga y descarga de materiales, las cual debe ser amplia, bien iluminada y sin obstáculos.
- Desarrollar procedimientos por escrito para las operaciones de carga, descarga y transferencia de materiales.
- Mantener los recipientes herméticamente cerrados.
- Elaborar procedimientos e instrucciones técnicas de operación en cada parte del proceso.
- Contar con las hojas de datos de seguridad de los materiales.
- Desarrollar normas de seguridad y procedimientos de actuación en caso de una emergencia.
- Llevar a cabo una identificación de peligros de la instalación industrial.
- Realizar simulacros de evacuación y de atención dependiendo de los riesgos mayores que enfrenta la industria.
- Contar con programas de capacitación del personal operativo de la planta.
- Instalar instrumentos de control tales como válvulas de seguridad, indicadores y controles de nivel, válvulas de venteo, detectores de sustancias en caso de fuga, alarmas, etc.
- Contar con diques de contención para los tanques de almacenamiento de sustancias peligrosas.
- Establecer un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos de proceso.
- Eliminar o modificar las condiciones inseguras en el proceso.

Como medida de prevención a nivel de municipio, es muy importante contar con un inventario de las instalaciones industriales consideradas altamente peligrosas y de las sustancias peligrosas que se manejan en cada una de ellas, para conocer las propiedades fisicoquímicas importantes por razones de seguridad como serían las características de toxicidad, presión de vapor, estado físico, olor, solubilidad, efectos a la salud, reactividad, clasificación de riesgo, incompatibilidad con otras sustancias en especial con agua y oxígeno, ya que éstos siempre están disponibles en el ambiente.

También es importante conocer si una sustancia inflamable produce gases tóxicos como subproductos de la combustión.

Para conocer estas propiedades, es necesario contar con las hojas de datos de seguridad de los materiales y con bancos de información toxicológica.

### CLASIFICACIÓN DE ACCIDENTES QUÍMICOS

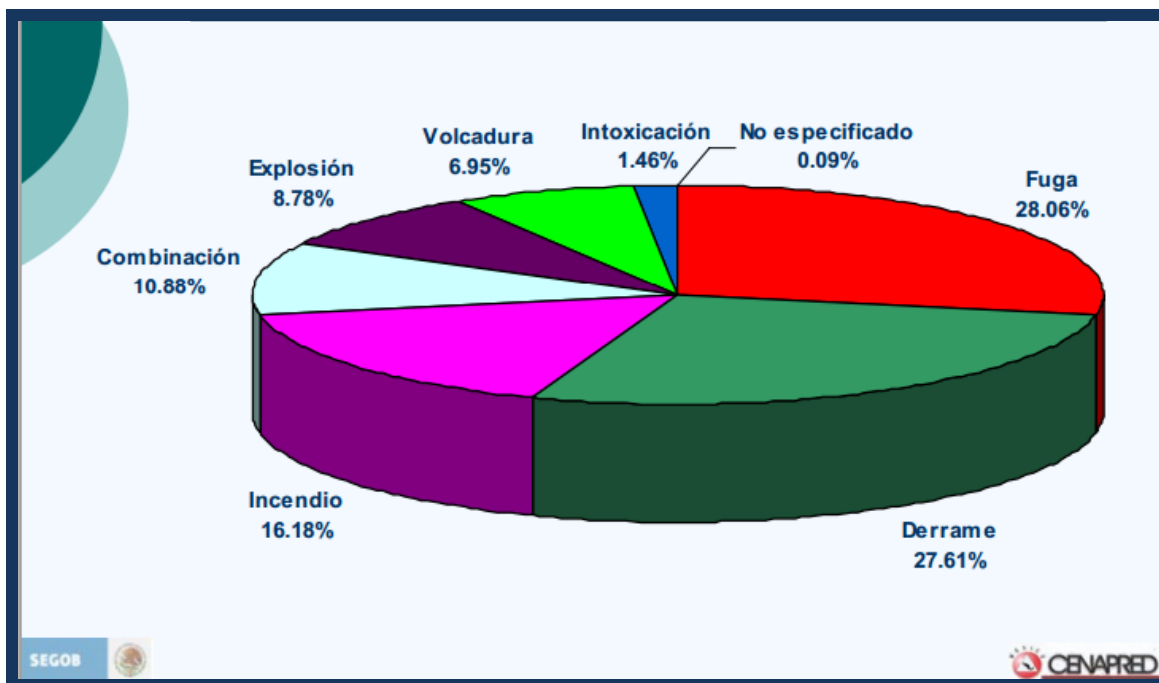


Figura 1. Accidentes ocurridos en producción y almacenamiento. (CENAPRED 2008)

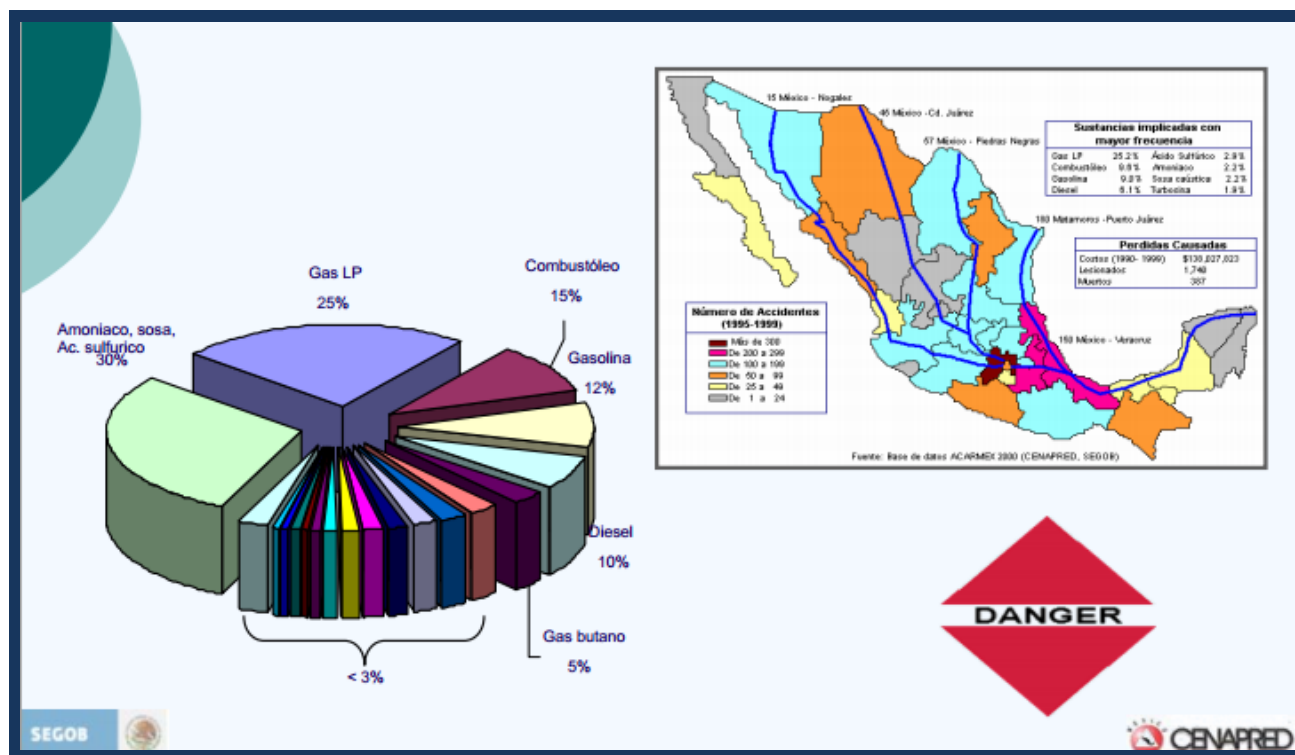


Figura 2. Químicos que sufren mayor número de accidentes en el transporte. (CENAPRED 2008)

## 2.6. MEDIDAS DE ATENCIÓN DE ACCIDENTES

### Identificación de Peligros

Además de las medidas de prevención tomadas para evitar un accidente, la industria debe estar preparada en el caso de ocurrir una emergencia debido a circunstancias imprevistas o a una falla en los sistemas de prevención, mitigación o administración.

El primer paso en la fase de preparación es identificar incidentes creíbles, ésta es una parte integral del proceso de análisis de peligros.

Después de identificar y seleccionar los incidentes creíbles, se define el tipo y magnitud de consecuencias y se determinan cuáles son los escenarios más útiles en la planeación de respuesta a emergencias.

Las consecuencias de un evento generalmente incluyen la liberación de líquidos inflamables y/o tóxicos y explosiones. La liberación de líquidos o gases tóxicos o inflamables, tienen el potencial de causar una o más de las siguientes consecuencias:

- Formación de aerosol y/o evaporación
- Dispersión de vapor tóxico o inflamable
- Fuego
- Explosión

Estos resultados, por sí mismos, no proporcionan suficiente información sobre la extensión de los impactos sobre los seres humanos, el ambiente y las propiedades.

Los escenarios de incidentes permiten:

- Identificar el tipo de equipo necesario.
- Determinar el tipo de experiencia del personal y los recursos necesarios para mitigar el incidente.
- Desarrollar las estrategias de respuesta apropiada.

El papel de la autoridad es muy importante en las actividades de carácter preventivo y una vez que ocurre un accidente químico, el cual rebase las instalaciones de la empresa responsable, es necesaria su intervención para participar en las acciones de atención y recuperación o restablecimiento, cuyo propósito es disminuir y mitigar los daños derivados del accidente.

La preparación para la atención de emergencias químicas en nuestro país debe planearse a nivel municipal; para poder llevar a cabo esta planeación, en un principio debe conocerse cuáles son las sustancias químicas que se almacenan en las diferentes instalaciones industriales que representan el mayor peligro de afectación, y después conocer cuáles son las propiedades fisicoquímicas de estas sustancias y los riesgos a la salud inherentes a las mismas.

El conocimiento que tienen los grupos de rescate y las autoridades que dan respuesta en caso de un accidente sobre las propiedades físicas, químicas y los efectos sobre la salud de las sustancias químicas, en muchas ocasiones es limitado o incompleto, por lo que es necesario identificar fuentes de información efectivas para obtener los datos necesarios sobre los productos involucrados.

Algunos de los accidentes que involucran sustancias químicas se deben a un manejo poco cuidadoso o por ignorancia de las sustancias que tienen un potencial de daño extremadamente alto. Predominando el desconocimiento general sobre el peligro que representan las diferentes sustancias químicas.

De ser posible debe identificarse el probable daño que pudiera provocar un accidente químico mediante el estudio de las características de las instalaciones donde se manejan sustancias químicas peligrosas, el conocimiento de las condiciones meteorológicas de la región, la posible cantidad liberada, y el número y ubicación de la población potencialmente expuesta.

## **2.7. PROGRAMA DE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS**

Para la atención de emergencias químicas, debe contarse con un programa bien estructurado en el cual participen las diversas partes involucradas en la planificación y la respuesta por lo que debe existir una estrecha colaboración entre las autoridades locales y regionales, la industria, la población, los servicios de emergencia de la localidad y los centros de atención médica.

Las metas de la planificación para casos de emergencia debido a accidentes químicos son el evitar o minimizar:

- Los efectos adversos a la salud humana
- Las pérdidas económicas y materiales
- La contaminación del ambiente.

En los planes de emergencia se deben establecer claramente las funciones y responsabilidades de los individuos y de las organizaciones que participarán en la respuesta, así como los niveles de autoridad.

Asimismo se deben identificar los recursos materiales, humanos y financieros que estarían disponibles en caso de un accidente químico. Además, se debe decidir quién tendrá la autoridad para distribuir y autorizar estos recursos.

Los inventarios de peligros son un medio importante para identificar posibles situaciones de emergencia. Asimismo, un sistema de notificación de los accidentes que ocurren resulta útil para que las personas encargadas de la planificación puedan conocer los antecedentes de casos de emergencia en el área.

También debe disponerse de información sobre la población potencialmente expuesta en caso de un accidente, para asegurar que se tenga disponible la capacidad de respuesta adecuada.

Se debe concientizar y crear mecanismos de colaboración con la industria, para que ésta proporcione información confiable sobre las sustancias químicas que almacena, maneja, procesa, fabrica, utiliza y distribuye en sus instalaciones.

También es parte importante en esta planeación, tomar en consideración la necesidad de proporcionar regularmente al público información apropiada sobre el riesgo al que está expuesta la población, incluyendo la relacionada con la salud.

La información que se dé al público potencialmente afectado debe enfatizar la prevención de la exposición o cualquier tipo de contacto directo con productos químicos, permaneciendo en interiores con las ventanas y los sistemas de ventilación cerrados y boca y nariz cubiertos con una toalla húmeda en caso de que ocurra la liberación de una sustancia tóxica.

Para poder dar respuesta adecuada ante un accidente químico es necesario obtener, mantener actualizada y difundir a nivel local, la siguiente información:

- Los tipos y cantidades de sustancias químicas procesadas, utilizadas, almacenadas y transportadas, en el área de estudio.
- Los puntos, actividades y procesos peligrosos.
- Las sustancias químicas que podrían liberarse en las instalaciones industriales y comerciales, especificando el estado físico y las cantidades de éstas.
- Las posibles medidas protectoras y correctivas que se tomen, o de las que se dispone localmente.
- Las listas de expertos de la industria, autoridades públicas, centros educativos, etc., sobre agentes químicos particulares o grupos de ellos.
- La ubicación de cantidades importantes de sustancias químicas.
- El número de trabajadores en las instalaciones de interés.
- El número de habitantes en el área o región.



- La ubicación de escuelas, hospitales, centros comerciales, terminales de transporte, iglesias, parques, etc.

El programa de atención de emergencias químicas a nivel municipal debe incluir los siguientes aspectos:

#### *A) EQUIPO DE EMERGENCIA*

Para poder dar atención de manera oportuna y eficaz en caso de un accidente químico es necesario determinar qué equipos son necesarios dependiendo del tipo de evento, de peligro y de las sustancias químicas involucradas. Tanto las industrias de la región como las autoridades deberán presentar el listado y cantidad de los equipos con que cuentan para atender una emergencia en el exterior de sus instalaciones. Y de esta manera detectar el equipo faltante.

Es importante considerar el equipo de protección personal, para la atención de emergencias y equipo pesado y de traslado de personal.

#### *B) PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA*

La parte medular del programa de atención de emergencias son los procedimientos para la atención de la misma, en los cuales se describen las funciones y responsabilidades de cada uno de los participantes, aquí se deberán considerar las brigadas establecidas, las autoridades, el cuerpo de bomberos, los centros de atención médica, Cruz Roja, Policía Federal y de caminos, etc.

Los procedimientos de atención deben incluir: combate contra incendios, primeros auxilios, fugas, derrames, explosiones, evacuación, búsqueda y rescate, así como eventos naturales como sismos e inundaciones.

Cuando es necesario evacuar a la población circundante a la instalación donde se presenta el accidente químico, deben contemplarse los centros de reunión, las rutas de evacuación y los posibles albergues en caso de que la emergencia se prolongue durante días.

#### *C) CAPACITACIÓN*

Es muy importante que todas las personas que intervienen en la atención de un accidente químico estén adecuadamente entrenadas y capacitadas en las funciones que van a desarrollar, para poder actuar con eficacia bajo condiciones de estrés.

La capacitación debe hacerse de manera periódica para mantener actualizado el conocimiento y proporcionar información específica sobre las condiciones y procedimientos de cada localidad. Deben darse cursos de capacitación de acuerdo a los posibles peligros existentes en la localidad y dependiendo de las funciones y responsabilidades de los participantes en la atención de la emergencia.

#### *D) SIMULACROS*

El plan de atención de emergencias se debe someter a prueba, bajo condiciones simuladas con la finalidad de que los participantes pongan en práctica su entrenamiento y capacitación, el personal no involucrado sepa cómo responder en caso de emergencia, se tomen tiempos de respuesta, se revise la disponibilidad de equipo, los medios de comunicación y la coordinación entre las diversas partes involucradas.

Los simulacros pueden llevarse a cabo con o sin previo aviso y es conveniente realizarlos por lo menos dos veces al año. Después de cada ejercicio, debe hacerse una evaluación crítica y comunicar los resultados a todos los grupos involucrados. Para esto, es necesario contar con la presencia de personal interno y externo al grupo de respuesta a emergencias cuya función es observar, evaluar y proponer medidas correctivas o de mejora para evitar incurrir en fallas en el caso de un evento real.

#### *E) COMUNICACIÓN*

Cuando ocurre un accidente se necesitan cadenas formales de comunicación para contar con la disposición y difusión eficiente de información. Por lo tanto deben establecerse de antemano relaciones entre todos los grupos involucrados, tomando en cuenta la necesidad de responder al escenario del accidente químico, según sea la sustancia involucrada.

El plan de atención de emergencias debe tomar en cuenta el hecho de que los medios de comunicación normales pueden ser insuficientes o no funcionar adecuadamente en situaciones de emergencia, tal como las líneas telefónicas, por lo tanto debe disponerse de sistemas de respaldo para estos casos.

Durante la emergencia debe esperarse un número excesivo de llamadas telefónicas o bien la presencia de personal de los medios masivos de comunicación, pidiendo información sobre lo sucedido, por lo cual debe designarse a un vocero oficial, quien será la persona responsable de dar la información pertinente tanto al público como a la prensa sobre el accidente y los daños ocasionados.

## **2.8. ALMACENAMIENTO DE SUSTANCIAS QUÍMICAS EN MEXICO**

Las sustancias químicas en estado líquido y gaseoso, y los productos derivados del petróleo se almacenan en tanques o depósitos bajo presión atmosférica y superior, los cuales pueden estar en la superficie o subterráneos; su tamaño, diseño, materiales, forma e instrumentación dependen de la cantidad y del producto a almacenar; mientras que las sustancias en estado sólido se almacenan en silos, sacos, tambores, bolsas y cajas.

El almacenamiento de sustancias químicas peligrosas en nuestro país debe hacerse conforme a la legislación correspondiente, por ejemplo en el caso del gas LP se debe cumplir con el Reglamento de distribución de gas licuado de petróleo y la norma NOM-001-SEDG-1996. En el caso de la industria petrolera, el petróleo y sus derivados se almacenan de acuerdo a la reglamentación nacional, normas internas y estándares internacionales.

A continuación se dan a conocer las sustancias químicas peligrosas que se encuentran almacenadas en instalaciones industriales localizadas en los diferentes estados de la República Mexicana. La información proviene del análisis de los Programas de Prevención de Accidentes y los Estudios de Riesgo que elaboran las industrias de alto riesgo y presentan ante la Dirección de Riesgos Ambientales de la Dirección General de Manejo Integral de Contaminantes perteneciente a la Subsecretaría de Gestión para la Protección Ambiental de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, así como de la información proporcionada por Petróleos Mexicanos a través de la Dirección Corporativa de Seguridad Industrial y Protección Ambiental referente a los inventarios de sustancias peligrosas en los diferentes organismos subsidiarios de Pemex.

Se mencionan las sustancias químicas más peligrosas almacenadas considerando solo aquellas con un grado de peligro de 3 y 4, de acuerdo a la clasificación de peligro establecida por la NFPA y contenidos en la NOM-018-STPS-2000 para los criterios de salud, inflamabilidad y reactividad, y dependiendo del volumen en toneladas almacenado.

Las sustancias químicas peligrosas almacenadas en instalaciones industriales que pueden representar mayor importancia en el país, debido a su volumen de almacenamiento, peligrosidad y presencia en varias entidades federativas son las siguientes:

1) Gas L.P.

**2) Amoniaco**

- 3) Ácido sulfúrico
- 4) Cloro
- 5) Hexano
- 6) Gasolina
- 7) Nitrógeno
- 8) Acetona
- 9) Alcohol metílico
- 10) Alcohol propílico e isopropílico
- 11) Propano
- 12) Acetato de etilo

Los estados de la República que tienen mayor número de sustancias químicas peligrosas almacenadas en grandes cantidades son:

- 1) Veracruz
- 2) México
- 3) Puebla
- 4) Tamaulipas
- 5) Jalisco
- 6) Hidalgo
- 7) Guanajuato
- 8) Nuevo León
- 9) Oaxaca
- 10) Chihuahua
- 11) Distrito Federal
- 12) Querétaro

Tabla 1. Sustancias químicas más peligrosas y porcentajes de almacenamiento por estado. (CENAPRED 2005)

SUSTANCIA QUÍMICA PELIGROSA														
ESTADO	Gas LP	Amoniaco	Ácido sulfúrico	Cloro	Hexano	Gasolina	Nitrógeno	Acetona	Metanol	Propanol	Propano	Acetato de etilo	Óxido de etileno	Ácido fluorhídrico
Veracruz	61	16	14	51	33	18	5	64	31	62	73	79	15	--
México	9	--	--	10	5	--	--	12	12	13	--	7	31	--
Puebla	2	--	--	--	42	--	9	--	25	1	8	--	--	--
Hidalgo	4	1	--	--	6	9	--	3	1	1	5	--	--	2
Guanajuato	1	2	2	--	2	11	--	10	1	4	--	8	--	3
Tamaulipas	--	1	14	2	2	9	--	--	21	--	3	--	--	63
Nuevo León	--	--	1	3	2	10	1	1	2	3	4	1	1	8
Jalisco	5	2	2	1	2	2	27	3	1	1	--	1	--	--
Chihuahua	--	5	1	21	--	2	1	--	--	--	--	--	--	17
Oaxaca	3	41	--	1	--	8	--	--	--	--	3	--	1	2
D.F.	1	--	--	1	1	3	1	3	1	4	--	1	1	--
Querétaro	--	3	3	4	--	--	--	1	--	3	--	1	--	--
Sinaloa	4	17	--	--	1	2	--	--	--	--	--	--	--	--
Sonora	--	8	11	--	2	2	--	--	--	--	--	--	--	--
Tlaxcala	--	--	46	1	--	--	--	--	1	--	--	--	49	--
Coahuila	2	3	3	--	--	--	54	--	--	2	--	--	--	--
Morelos	--	--	--	--	--	--	1	1	1	--	--	--	2	--
Otros	8	1	3	5	2	24	1	2	3	6	4	2	0	5
Total (%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

## 2.8.1. DISTRIBUCIÓN DE PRINCIPALES SUSTANCIAS QUÍMICAS EN MÉXICO.

### A) GAS L. P.

En la Figura 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.

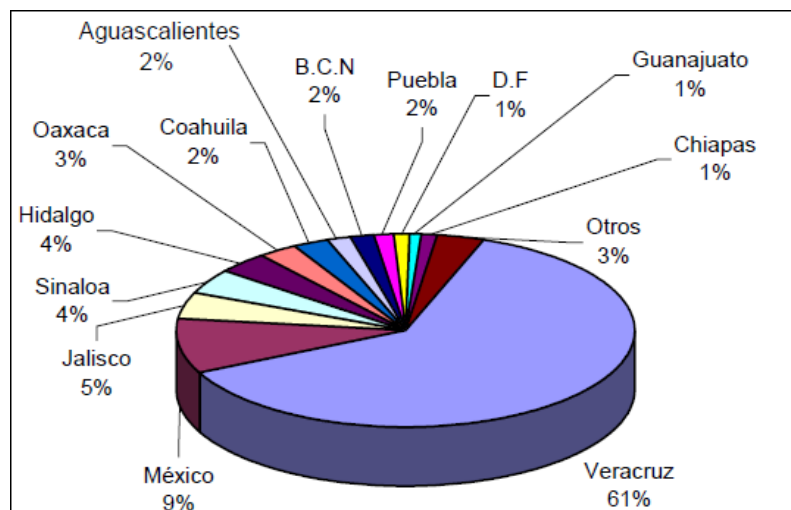


Figura 3. Distribución porcentual de Gas L.P. en México. (CENAPRED 2005)

En la tabla 2 se presenta la cantidad de Gas L.P almacenada en toneladas por estado.

Tabla 2. Volumen de Gas L.P. en algunos estados de la República. (CENAPRED 2005)

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
D.F.	15,955
Guanajuato	14,675
Chiapas	14,428
Otros	53,041

## B) AMONIACO.

En la Figura 4 se muestran los estados que tienen mayor cantidad almacenada de amoniaco con sus porcentajes respecto al volumen total almacenado en el país.

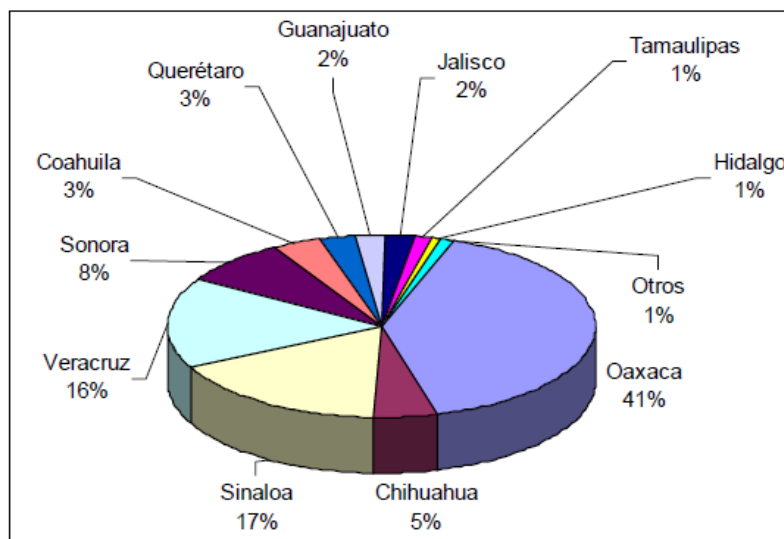


Figura 4. Distribución porcentual de Amoniaco en México. (CENAPRED 2005)

En la tabla 3 se presenta la cantidad de Amoniaco almacenada en toneladas por estado.

Tabla 3. Volumen de Amoniaco en algunos estados de la República. (CENAPRED 2005)

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

### C) ÁCIDO SULFÚRICO.

En la Figura 5 se muestran los estados que tienen mayor cantidad almacenada de ácido sulfúrico con sus porcentajes respecto al volumen total almacenado en el país.

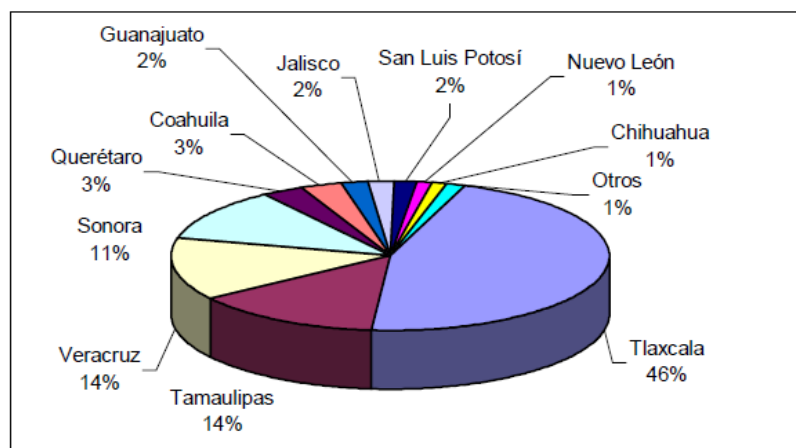


Figura 5. Distribución porcentual de Ácido Sulfúrico en México. (CENAPRED 2005)

En la tabla 4 se presenta la cantidad de ácido sulfúrico almacenada en toneladas por estado.

Tabla 4. Volumen de Ácido Sulfúrico en algunos estados de la República. (CENAPRED 2005)

Estado	Toneladas
Tlaxcala	379,263
Tamaulipas	114,300
Veracruz	113,041
Sonora	93,951
Querétaro	26,418
Coahuila	23,792
Guanajuato	17,016
Jalisco	15,375
San Luis Potosí	13,929
Nuevo León	10,357
Chihuahua	8,347
Otros	11,302



#### D) CLORO.

En la Figura 6 se muestran los estados que tienen mayor cantidad almacenada de cloro con sus porcentajes respecto al volumen total almacenado en el país.

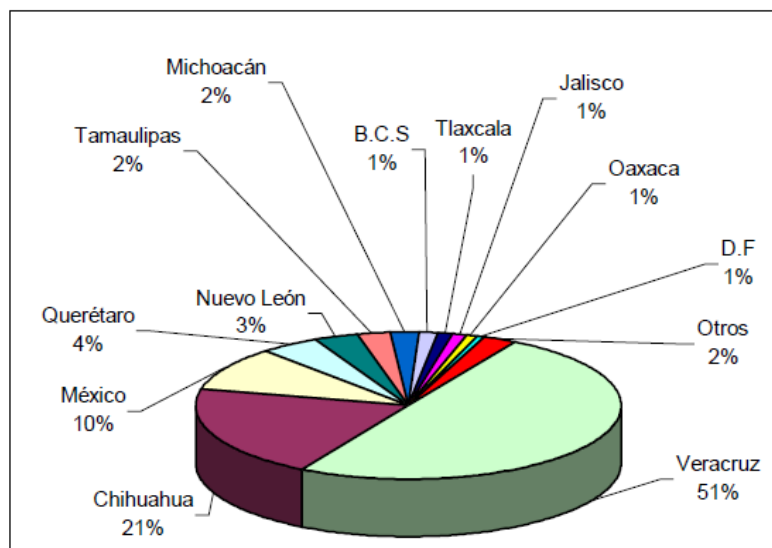


Figura 6. Distribución porcentual de Cloro en México. (CENAPRED 2005)

En la tabla 5 se presenta la cantidad de ácido sulfúrico almacenada en toneladas por estado.

Tabla 5. Volumen de Cloro en algunos estados de la República. (CENAPRED 2005)

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

El Centro Nacional de Desastres (CENAPRED) cuenta con un Atlas Nacional de Riesgos en donde se puede identificar el número de almacenamientos de sustancias químicas totales por estado, y en este caso, el mapa en el que se localizan los estados y la cantidad de amoniaco almacenada en cada uno de ellos (Figura 7).

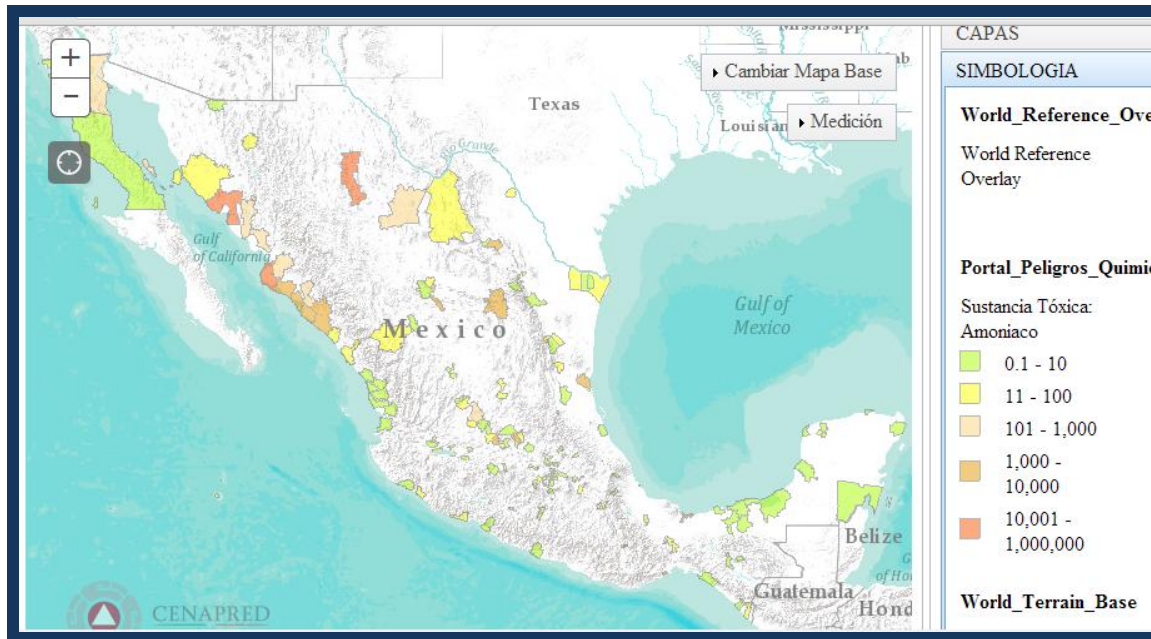


Figura 7. Número de almacenamiento de sustancias químicas totales por estado.

Se deben evaluar los escenarios críticos que pueden enfrentar las unidades de atención de emergencias durante el almacenamiento y el transporte de sustancias peligrosas y las unidades de protección civil deben conocer los peligros y riesgos tecnológicos que existen en sus municipios y localidades, así como sus recursos disponibles y todas las posibles limitaciones.

### **3. GENERALIDADES DEL AMONIACO:**

El amoníaco es un gas incoloro con olor característico, muy soluble en agua. Sus disoluciones acuosas son alcalinas y tienen un efecto corrosivo frente a metales y tejidos. El pH de disoluciones acuosas 0.1 M es de 11.2.

A pesar de ser clasificado como un gas no inflamable, el amoníaco puede arder bajo ciertas concentraciones en fase vapor y el riesgo de fuego aumenta en presencia de materiales combustibles.

Este gas es más ligero que el aire, sin embargo en caso de una fuga, los vapores llenan por completo la parte cercana al suelo.

En caso de fuga o descompresión rápida de esta sustancia, existe el riesgo de congelamiento por contacto debido a que se almacena a presión como líquido.

#### **SINÓNIMOS:**

AMONÍACO ANHIDRO, AMONÍACO GAS,

Otros idiomas:

AMMONIAC (FRANCÉS), AMMONIACA (ITALIANO), AMMONIAK (ALEMÁN), AMONIAK (POLACO)

En inglés:

AM-FOL AMONIACO, AMMONIA, AMMONIA GAS, AMMONIA-14N, NITRO-SIL, R 717

REFRIGERANT R717, SPIRIT OF HARTSHORN, AMMONIA ANHYDROUS

### 3.1. PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS DEL AMONIACO ANHIDRO:

TABLA 6. Propiedades físicas y termodinámicas del amoniaco anhidro.

PROPIEDAD	VALOR
Punto de ebullición	-33.35 °C
Punto de congelación	-77.7 °C
Densidad (líquido)	0.6818 (-33.35 °C y 1 atm); 0.6585 (-15 °C y 2.332 atm); 0.6386 (0 °C y 4.238 atm); 0.6175 (15 °C y 7.188 atm); 0.5875 (35 °C y 13.321 atm).
Densidad de vapor (aire= 1)	0.6
Presión de vapor (a 25.7 °C)	760 mm de Hg
Límites de explosividad	16-25 %
Temperatura de auto ignición	651 °C
Solubilidad en agua (% en peso)	42.8 (0 °C), 33.1 (20 °C), 23.4 (40 °C),
Temperatura crítica	133 °C
Presión crítica	11.425 KPa
Calor específico (J/Kg K)	2097.2 (0 °C), 2226.2 (100 °C) y 2105.6 (200 °C).
Calor de formación del gas (KJ/mol)	-39.222 (0 K) y -46.222 (298 K)
Calor de vaporización	5.581 Kcal/mol
Capacidad calorífica (25 °C)	8.38 cal/mol/grado.

(Hoja de Seguridad Amoniaco F.Q.)

### **3.2. PRINCIPALES USOS DEL AMONIACO**

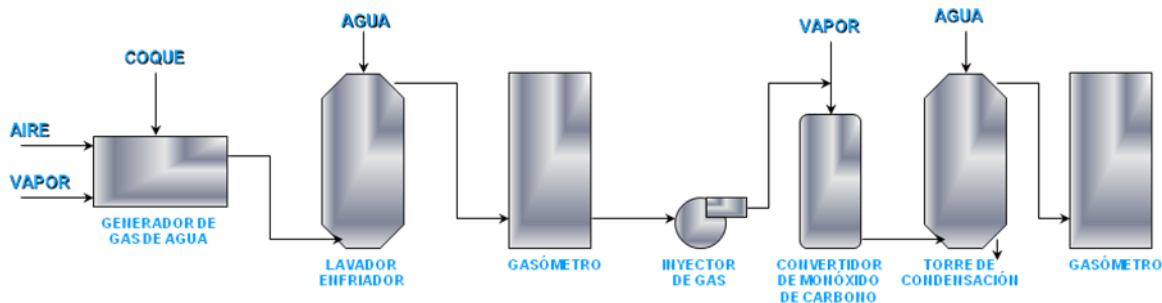
- Se usa como refrigerante
- Fabricación de fertilizantes
- Fabricación de explosivos
- La mayor parte se utiliza para la fabricación de ácido nítrico
- También se consume gran cantidad de amoniaco en diversas industrias orgánicas, de colorantes, plásticos, fibras sintéticas, drogas, etc.
- Fabricación de caprolactama
- Fabricación de químicos como: el nitrilo acrílico y sales de amonio
- 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

### **3.3. PROCESO DE ELABORACIÓN DE AMONIACO**

Se elabora a través del proceso Haber-Bosh, mediante hidrogeno y nitrógeno a alta presión. Las etapas que constituyen este proceso son las siguientes:

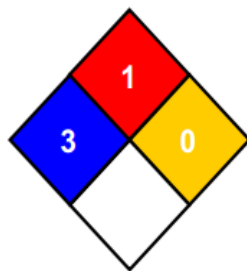
1. Destilación de aire para obtener nitrógeno
2. Oxidación parcial del metano con oxigeno
3. Eliminación del carbono
4. Conversión del monóxido de carbono con vapor de agua
5. Eliminación de bióxido de carbono formado
6. Eliminación del monóxido de carbono por medio de nitrógeno liquido
7. Formación de amoniaco

## Proceso Haber-Bosh



### 3.4. NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN:

**NOM 118-STPS-2000:** (Norma Oficial Mexicana) Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo. Es una homologación de la NFPA (fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación: 27-10-2000)



Amoníaco

Salud	
4	Peligro Severo
3	Peligro Grave
2	Peligro Moderado
1	Peligro Ligero
0	Peligro Mínimo

Inflamabilidad	
4	Extremadamente inflamable
3	Ignita a temperatura ambiente
2	Ignita cuando es calentado moderadamente
1	Debe ser precalentado para quemarse
0	No se quema

Riesgos Especiales	
W	Evitar usar agua
OX	Oxidante

Reactividad	
4	Capaz de detonar o de una descomposición explosiva a temperatura ambiente
3	Capaz de detonar o de una descomposición explosiva con una fuerte fuente de ignición
2	Posibles cambios químicos violentos a temperatura elevada
1	Normalmente estable, pero se convierte en inestable al calentarse
0	No reacciona

**CAS** (Chemical Abstracts Service) Número asignado por Chemical Abstracts a la Sustancia.

7664-41-7 (anhidro)

**UN** (*United Nations*) Número asignado por la ONU a la sustancia químicas peligrosas, se utiliza internacionalmente en los transportes terrestres, ferroviarios y aéreos:

1005 (anhidro y disol. De conc. Mayor a 50 %)

2672 (disoluciones acuosas entre 10% y 35%)

2073 (disoluciones acuosas ente 35% y 50 %)

**HAZCHEM CODE** (Hazard Chemicals Code) Este código es utilizado por el Servicio de Emergencias del Reino Unido para clasificar a las sustancias peligrosas transportadas por vía terrestre:

2PE (anh. Y disol. Mayores de 50 %)

2P (disol. Acuosas entre 10% y 35%)

2PE (disol. Acuosas ente 35% y 50 %)

**STCC** (*Standard transportation Commodity Code*):

4904210 (anhidro)

4904220 (disolución acuosa al 44 %)

**NIOSH** (*National Institute for Occupational Safety and Health*):

BO 0875000

**NOAA** (*National Oceanic and Atmospheric Administration*)

4860 (anhidro)

5360 (disolución acuosa al 44 %)

**RTECS** (Registry of Toxic Effects of Chemical Substance)

BO0875000 (anhidro)

BQ9625000 (disolución acuosa al 44 %)

### 3.5. NIVELES DE TOXICIDAD:

#### México:

**CPT** (Concentración Promedio ponderada en el Tiempo). Concentración promedio para una jornada normal de 8 horas al día y 40 horas a la semana, a la cual casi todos los trabajadores pueden estar expuestos al producto químico sin efectos adversos.: **18 mg/m<sup>3</sup> (25 ppm)**

**CCT** (Concentración para la exposición a Corto Tiempo) Concentración que no se debe exceder en 15 minutos en una jornada de trabajo, hasta 4 veces por jornada y con periodos de no exposición de al menos 1 hora entre 2 eventos sucesivos.: **27 mg/m<sup>3</sup> (35 ppm)**

#### Estados Unidos:

**TLV-TWA** (Threshold Limit Values-Time Weighted Average) Equivalente a CPT:

**18 mg/m<sup>3</sup> (25 ppm)**

**TLV-STEL** (Threshold Limit Values- Short Term Exposure Limit) Equivalente a CCT:

**35 mg/m<sup>3</sup> (35 ppm)**

**IDLH** (Immediately Dangerous to Life and Health) Concentración máxima a la cual puede escaparse de un lugar en los 30 minutos siguientes sin que se presenten síntomas irreversibles a la salud. Se usa para determinar el tipo de respirador. No se consideran efectos cancerígenos: **500 ppm**



**AEGL** (Acute Exposure Guideline Levels) Los AEGLs que se presentan a continuación (Tabla 7) corresponden a la actualización de EPA de agosto de 2006 describen los efectos sobre la salud de los humanos de la exposición poco frecuente a sustancias químicas en el aire, siendo su estado de desarrollo provisional.

Tabla 7. Valores típicos de AEGL en mg/m<sup>3</sup> y ppm.

	10 min	30 min	60 min	4 horas	8 horas
<b>AEGL<sub>1</sub></b> <b>(mg/m<sup>3</sup>)</b>	21	21	21	21	21
<b>AEGL<sub>2</sub></b> <b>(mg/m<sup>3</sup>)</b>	156	156	114	78	78
<b>AEGL<sub>3</sub></b> <b>(mg/m<sup>3</sup>)</b>	1916	1135	781	390	277

	10 min	30 min	60 min	4 horas	8 horas
<b>AEGL1</b> <b>(ppm)</b>	30	30	30	30	30
<b>AEGL2</b> <b>(ppm)</b>	220	220	160	110	110
<b>AEGL3</b> <b>(ppm)</b>	2700	1600	1100	550	390

Debido a la provisionalidad del valor AEGL, se adjunta también el valor ERPG (Emergency Response Planning Guidelines, Tabla 8) que son estimaciones de rasgos de concentraciones entre los cuales uno puede anticipar razonablemente la observación de efectos adversos sobre la salud.

Tabla 8. Valores de ERPG en minutos y mg/m<sup>3</sup>.

TIEMPO	ERPG <sub>1</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	ERPG <sub>2</sub> (mg/m <sup>3</sup> )	ERPG <sub>3</sub> (mg/m <sup>3</sup> )
60 minutos	18	106	532

TIEMPO	ERPG <sub>1</sub> (ppm)	ERPG <sub>2</sub> (ppm)	ERPG <sub>3</sub> (ppm)
60 minutos	25	150	750

**PAC** (Protective Action Criteria) Son criterios establecidos por el Departamento de Energía de E.U.A., que se basa en los AEGL y los ERPG. Se utilizan en caso de accidentes con emisiones de sustancias químicas.

**RQ** (Reportable Quantity) Cantidad de sustancia que excede la medida de EPA: **100 ppm**

**LCLo** (Lowest published lethal concentration) Concentración letal mínima publicada (inhalación en humanos): **5000 ppm/ 5 min**

**LD<sub>50</sub>** (Lethal Doses 50) Dosis con la cual se provoca la muerte del 50 % de una población de animales sometidos a experimentación. (oral en ratas): **350 mg/Kg**

**LC<sub>50</sub>** (Lethal concentration 50) Concentración con la cual se provoca la muerte del 50 % de una población de animales sometidos a experimentación (inhalado en ratas): **2000 ppm/ 4 h**

Nivel más bajo de percepción humana: **0.04 g/m<sup>3</sup> (53 ppm)**

➤ **UMBRAL DE OLOR= 5 ppm**

El valor del umbral del olor puede variar mucho. No depende del olor solamente para determinar una exposición potencialmente peligrosa.

El amoníaco figura en la Lista de Sustancias Peligrosas del Derecho a Saber (Right to Know Hazardous Substance List), ya que ha sido citado por los siguientes organismos: OSHA, ACGIH, DOT, NIOSH, DEP, IRIS, NFPA Y EPA.

Esta sustancia química figura en la Lista de Sustancias Extremadamente Peligrosas para la Salud (Special Health Hazard Substance List).

El contacto puede producir graves irritaciones y quemaduras en la piel y los ojos con la posibilidad de daño ocular; Su inhalación puede irritar los pulmones. La exposición más alta podría causar edema pulmonar, lo que constituye una emergencia médica caracterizada por acumulación de líquido en los pulmones.

La exposición reiterada podría causar una alergia de tipo asmático y llevar a daño pulmonar.

El contacto con el amoníaco líquido puede causar congelación.

### **3.6. LIMITE DE EXPOSICIÓN LABORAL**

**STPS** (*Secretaría del Trabajo y Previsión Social*) de acuerdo a la norma NOM-010-STPS/1994 el límite de exposición en 8 horas es de 27 mg/m<sup>3</sup> equivalente a 35 ppm.

**OSHA** (*Occupational Safety and Health Administration*): El PEL (*Permissible exposure limite*) que es el límite de exposición permisible es de 50 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas.

**NIOSH** (*National Institute for Occupational Safety and Health*): El REL (*Recommended exposure limit*) es de 25 ppm como promedio durante un turno laboral de 10 horas y de 35 ppm, que no debe excederse durante ningún periodo laboral de 15 minutos.

**ACGIH** (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*): El TLV *Threshold Limit Value* (valor límite umbral) es de 25 ppm como promedio durante un turno laboral de 8 horas y el STEL es de 35 ppm.

## **4. ALMACENAMIENTO DE AMONIACO**

Las emergencias surgen mayormente, de acuerdo a los datos estadísticos, en los contenedores de amoniaco; por lo tanto, a continuación se dará una pequeña introducción sobre el almacenamiento y los tipos de contenedores que pueden almacenar el amoniaco y sus características.

### **4.1. CRITERIOS DE ALMACENAMIENTO:**

Debe hacerse en lugares frescos y secos, preferentemente alejado de fuentes de ignición y del almacén principal, pues debe estar totalmente aislado de productos químicos como oxígeno, halógenos y ácidos y no debe exponerse directamente a la del sol.

Los cilindros donde se almacena el gas deben encontrarse sujetos a la pared, con el capuchón protector de la válvula y no deben someterse a temperaturas mayores de 52°C. La válvula deberá permanecer cerrada cuando el tanque no esté en uso o se encuentre vacío.

Utilizar las conexiones y equipo del material recomendado por el fabricante, pues existen algunos metales y aleaciones que son atacadas por el amoníaco.

### **TIPOS DE ALMACENAMIENTO**

1.- Almacenamiento refrigerado: es aquél en el cual la temperatura del amoniaco es inferior a -33°C, bajo presión atmosférica.

2.- Almacenamiento semirefrigerado: es aquél en el cual la temperatura del amoniaco es superior a -33°C, pero inferior a la temperatura ambiente. La presión es superior a la atmosférica.

3.- Almacenamiento no refrigerado: Es aquél en el cual la temperatura máxima que puede alcanzar el amoniaco es igual a la temperatura ambiente, con presión muy superior a la atmosférica.

### **SISTEMA DE IDENTIFICACION PARA CARRO TANQUES**

Los carro tanques cuentan con un sistema de identificación que permite determinar el tipo o la clase a la que pertenecen, la presión a la cual han sido probados, el material con el que están contruidos y algunos otros indicadores como accesorios, revestimientos o tipo

de aislantes. Esta identificación se encuentra rotulada en un costado de cada carro tanque.

La Figura 8 muestra el número de identificación de acuerdo a las especificaciones del Departamento de Transportación de E.U.A.

De acuerdo al Departamento de transportación de EUA (DOT) de esta forma sería el número de identificación:

DOT – 111 A 100 W 3

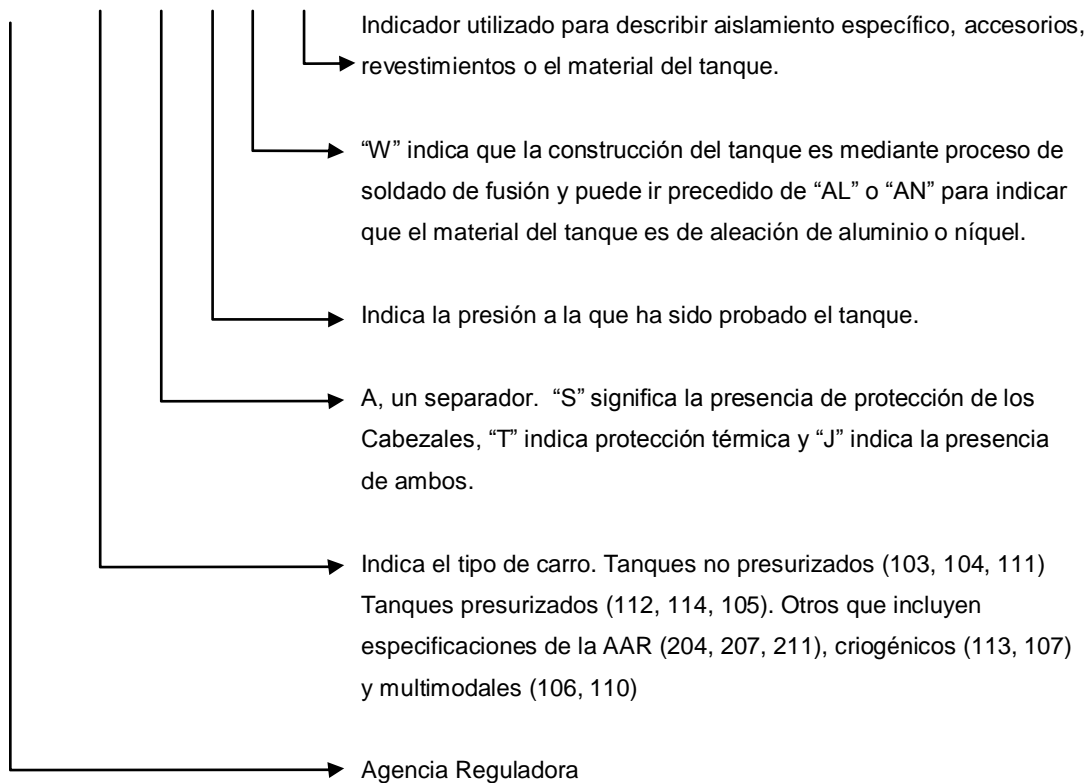


Figura 8. Número de identificación de transportes acuerdo al DOT.

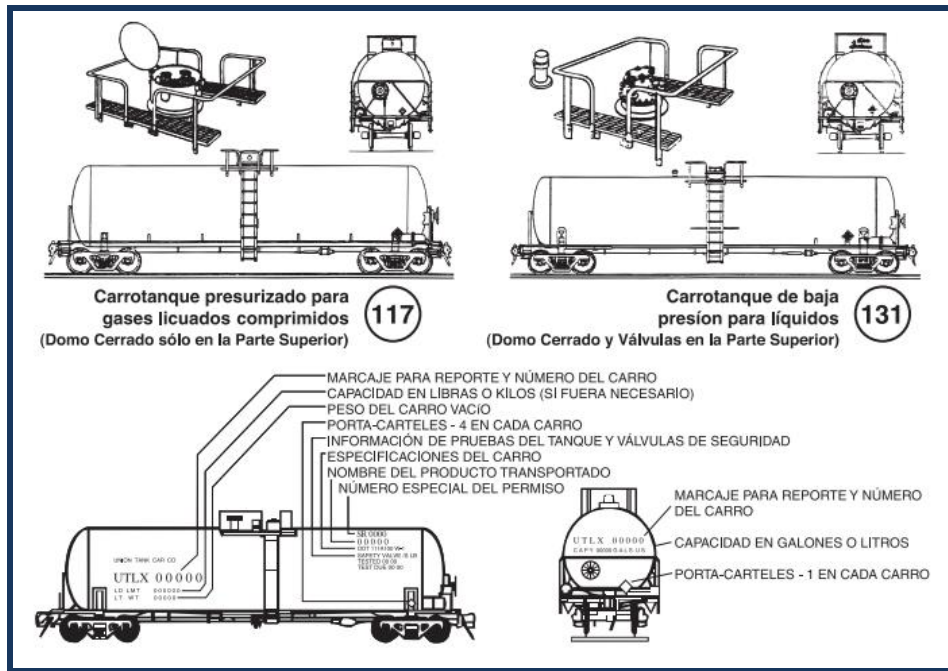


Figura 9. Identificación de carrotanques.

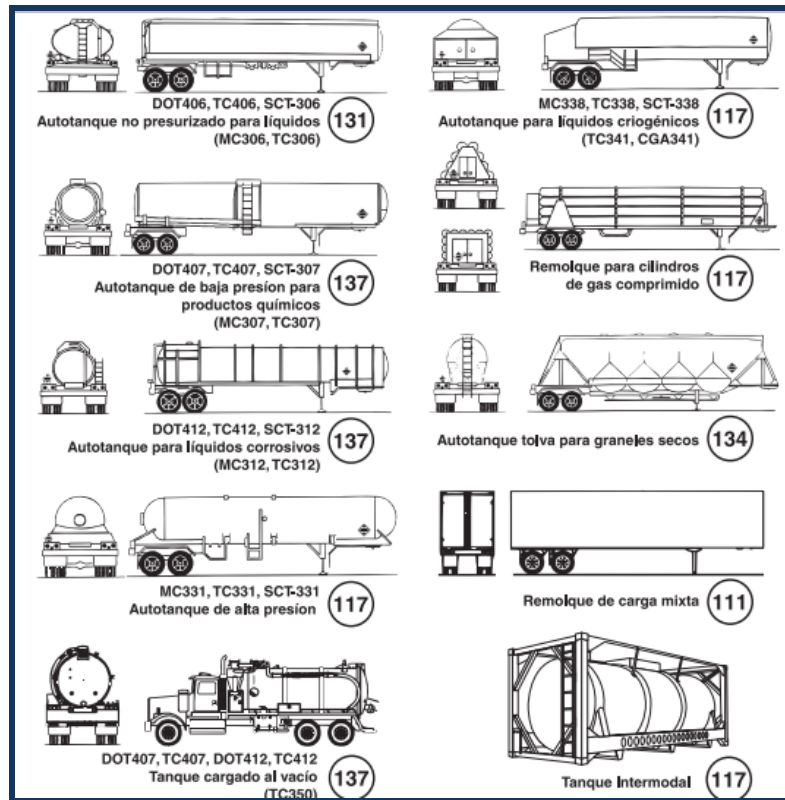


Figura 10. Identificación de autotanques.

#### 4.2. DESCRIPCIÓN DE CARROTANQUE, AUTOTANQUES Y CILINDROS

TABLA 9. Descripción de carrotanque.

CONTENEDOR	PRODUCTOS TIPICOS TRANSPORTADOS
<p><b>DOT 105J300W</b></p> <p>Protección térmica</p> <p>Protección al cabezal</p> <p>Válvula de seguridad (225 psi)</p>	<p><b>Amoniaco Anhidro</b></p> <p>Cloro</p> <p>Fluoruro de Hidrógeno (HF anhidro)</p> <p>Gas licuado de Petróleo</p>
<p><b>DOT 106<sup>3</sup>500X</b></p> <p>Unidad multiple con acero desmontable</p> <p>Tanque sin aislamiento</p> <p>Cada tanque equipado con válvula de carga y descarga y la válvula de seguridad o de ventilación.</p>	<p>Cloro</p> <p><b>Amoniaco Anhidro</b></p> <p>Dioxido de Azufre</p> <p>Butadieno</p> <p>Refrigerante o dispensor de Gases</p>
<p><b>DOT 112S340W</b></p> <p>Sin aislamiento (debe ser pintado con pintura reflectante de luz).</p> <p>Válvula de seguridad.</p> <p>Equipado de protección al cabezal.</p>	<p><b>Amoniaco Anhidro</b></p>
<p><b>DOT 112S440W</b></p> <p>Sistema de protección.</p> <p>Requiere pintarse con pintura reflectante de luz</p> <p>Equipo de protección al cabezal</p>	<p><b>Amoniaco Anhidro</b></p>

Tabla 9. Continuación de descripción de carrotanque.

<b>CONTENEDOR</b>	<b>PRODUCTOS TÍPICOS TRANSPORTADOS</b>
<p><b>DOT 112S500W</b></p> <p><b>Sin aislamiento (debe ser pintado con pintura reflectante de luz).</b></p> <p><b>Válvula de seguridad</b></p> <p><b>Equipo de protección al cabezal.</b></p>	<p>Amoniaco Anhidro</p>
<p><b>DOT 114S340W</b></p> <p><b>Sin aislamiento (debe ser pintado con pintura reflectante de luz).</b></p> <p><b>Puerta y cubierta no pueden estar ubicados en la parte superior del tanque.</b></p> <p><b>Válvula de seguridad de liberación (225 psi).</b></p> <p><b>Salida inferior o lavado opcional.</b></p> <p><b>Equipo de protección al cabezal.</b></p>	<p>Amoniaco anhidro</p>
<p><b>DOT 114S400W</b></p> <p><b>Sin aislamiento (debe ser pintado con pintura reflectante de luz).</b></p> <p><b>Puerta y cubierta no pueden estar ubicados en la parte superior del tanque.</b></p> <p><b>Válvula y accesorios en la parte superior del tanque.</b></p> <p><b>Equipo de protección al cabezal.</b></p>	<p>Amoniaco anhidro</p>



TABLA 10. Descripción autotanque.

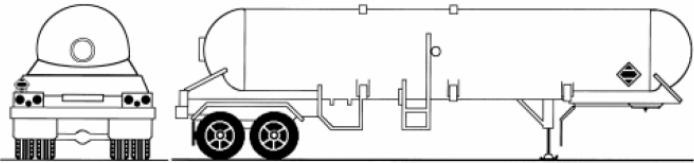
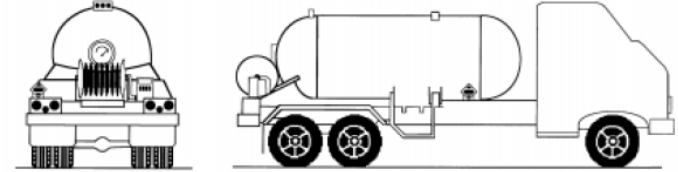
CONTENEDOR	PRODUCTOS TÍPICOS TRANSPORTADOS
<p><b>MC-331 alta presión, 11,500 Galones de capacidad. Transporta Gas LP y amoniaco anhidro.</b></p> <p><b>OPS presión de hasta 300 psi</b></p> <p><b>Compartimiento de acero sin aislamiento</b></p> <p><b>Válvulas interna y de salida trasera</b></p> <p><b>Pintado de color blanco u otro color reflectivo</b></p> <p><b>Marcar como gas inflamable o comprimido</b></p> <p><b>Extremos de forma redonda o cúpula</b></p>	<p>Gases y líquidos presurizados, amoniaco anhidro, propano, butano, otros gases que hayan sido licuados bajo presión.</p> <hr/> <p><small>MC 331 High Pressure Tank</small></p>   <p><small>BOBTAIL TANK — LOCAL DELIVERY OF LP GAS AND ANHYDROUS AMMONIA</small></p>

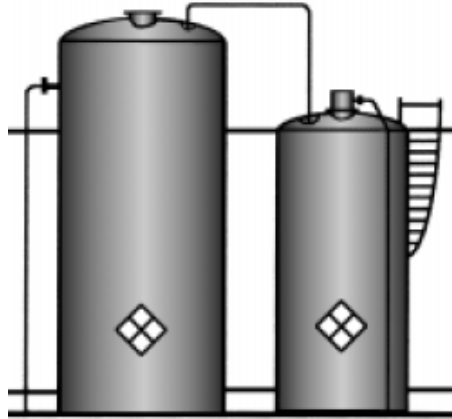
TABLA 11. Descripción cilindros.

CONTENEDOR	PRODUCTOS TÍPICOS TRANSPORTADOS
<p><b>DOT 3<sup>a</sup>480, DOT 3AA480, DOT 3<sup>a</sup>480X, DOT 4AA480, DOT 3E1800, DOT 3AL480</b></p> <p><b>Los cilindros comprados después del 01 de octubre 1944 , para el transporte de amoniaco no deben contener ninguna abertura distinta a la prevista en el cuello de la botella para la fijación de una válvula equipada con un dispositivo de descompresión aprobado.</b></p> <p><b>Todas las partes de la válvula y los dispositivos de alivio de presión en contacto con el contenido de los cilindros deben ser de metal o de otro material.</b></p> <p><b>Cada salida de la válvula debe ser sellada por un tapón roscado o un tapón roscado sólido.</b></p> <p><b>Debe cumplir con los requisitos de la válvula y de limpieza.</b></p>	<p><b>AMONIACO ANHIDRO</b></p> 

(Hazardous Material Guide USFA)

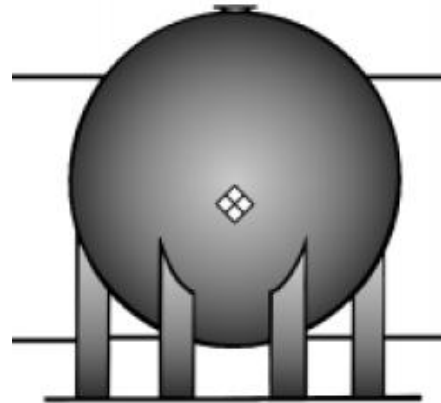
### 4.3. TIPOS DE TANQUES DE ALMACENAMIENTO EN SUPERFICIE (PEMEX)

Estos tanques son utilizados por PEMEX para el almacenamiento de sustancias químicas en superficie.



Tanques de Techo Semi-círculo

Para Líquidos inflamables y combustibles, fertilizantes, disolventes químicos, etc.



Tanque de Esfera para almacenamiento de alta presión.



Tanque horizontal de alta presión

Almacenamiento de Gas LP, Amoniaco Anhidro, Líquidos inflamables de alta presión de vapor (Gasolina).

## 5. MODELOS DE DISPERSIÓN

En la actualidad la emisión de contaminantes a la atmósfera y el importante manejo de sustancias peligrosas debido a la actividad industrial, son aspectos relevantes de nuestra sociedad. El incremento de la generación de contaminantes atmosféricos en las actividades industriales han obligado a crear normas de emisión de la cantidad máxima permisible, de tal manera que la afectación a la población y al ambiente sean mínimas. De igual manera el manejo, transporte o almacenamiento de sustancias peligrosas son importantes debido a los efectos que provocan en caso de un accidentes, por ejemplo la liberación de un gas o vapor toxico proveniente de una fuga o derrame de un liquido volatil, y la posible exposición de la población a concentraciones del mismo que puedan afectar severamente la salud o incluso provoquen la muerte.

Este tipo de escenarios reciben una atención especial debido a un número significativo de accidentes que se han registrado a nivel mundial. Es muy común que en las industrias se manejen sustancias que en determinado momento puedan provocar una explosión o un incendio resultan de especial interés los gases o líquidos que puedan dar lugar a la formación de un incendio o una nube explosiva. En este caso, es importante poder estimar los radios de afectación y la magnitud de los daños potenciales por la ocurrencia de un evento explosivo o un incendio, considerando al personal expuesto y las características de las instalaciones y procesos existentes.

El modelado matemático es una herramienta imprescindible en el estudio de la contaminación atmosférica, al igual que en otras disciplinas, para entender los procesos implicados. En el caso de la contaminación atmosférica, el marco en el que se desarrollan los fenómenos es la atmósfera, la cual no es controlable, ni reproducible completamente en laboratorio.

Un solo modelo no permite evaluar todos los escenarios (fugas, derramen, incendios, explosiones, etc) por lo que el manejo de estos simuladores requiere de personal capacitado y especializado para interpretar los resultados que proporciona el software, así como el manejo de criterios y variables a utilizar. Estos modelos de simulación están dirigidos a personas capacitadas que se enfoquen en la atención de emergencias y estudios de riesgo.

### PROGRAMAS DE SIMULACIÓN MÁS COMUNES

- ALOHA
- CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations)

- DEGADIS (Dense Gas Dispersion).
- ARCHIE (Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation).
- TSCREEN (A Model for Screening Toxic Air Pollutant Concentrations).

La EPA (Environmental Protection Agency) es la Agencia de Protección Ambiental de E.U.A. cuya función es proteger la salud de los seres humanos y el medio ambiente.

En respuesta a la creciente preocupación del público por los accidentes y derrames de sustancias químicas, la EPA ha creado el Programa de Preparación para Emergencias Químicas (CEPP). Este es un programa voluntario para fomentar el que autoridades locales identifiquen áreas de riesgo en su jurisdicción y planifiquen respuestas a emergencias químicas posibles.

El CAMEO (Computer-Aided Management of Emergency Operations) es un sistema ampliamente utilizado para planificar y responder a las emergencias químicas en E.U.A.. Es una de las herramientas desarrolladas por la EPA y la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), para ayudar a los de primera línea de emergencia y socorristas. Ellos pueden usar CAMEO para acceder, almacenar y evaluar información crítica para el desarrollo de planes de emergencia. Además, CAMEO apoya el cumplimiento normativo, ayudando a que los usuarios cumplan con los requisitos de presentación de informes, inventario de sustancias químicas de la Comunidad Derecho a Saber de la Ley de Planificación de Emergencia.

CAMEO integra una base de datos químicos (CAMEO CHEMICALS) y un método para gestionar los datos, un modelo de dispersión atmosférica y una capacidad de integrar mapas de localidades norteamericanas. Todos los módulos funcionan de forma interactiva para compartir y mostrar la información crítica en el momento oportuno para tomar las decisiones más acertadas.

#### Componentes de CAMEO

- Cuenta con una base de datos química con más de 6000 registros. Cada registro describe una sustancia o la mezcla de sustancias, incluyendo su nombre químico, nombre comercial y otros sinónimos, números de identificación, entre otros. Para aquellas personas que atienden una emergencia, la parte más importante de cada registro es la hoja de datos de seguridad para sustancias químicas (Response Information Data Sheet), que contiene una descripción general de las sustancias químicas, sus propiedades físicas, peligros para la salud y recomendaciones para

extinción, primeros auxilios y ropa protectora para la emergencia. Cuenta con otro modulo para mantener registro sobre instalaciones que almacenan sustancias químicas, los inventarios (las existencias) de sustancias químicas en aquellas instalaciones, plan de recursos y contactos para una emergencia y posiciones especiales como escuelas y hospitales con los cuales se podría tener contacto rápidamente durante una emergencia.

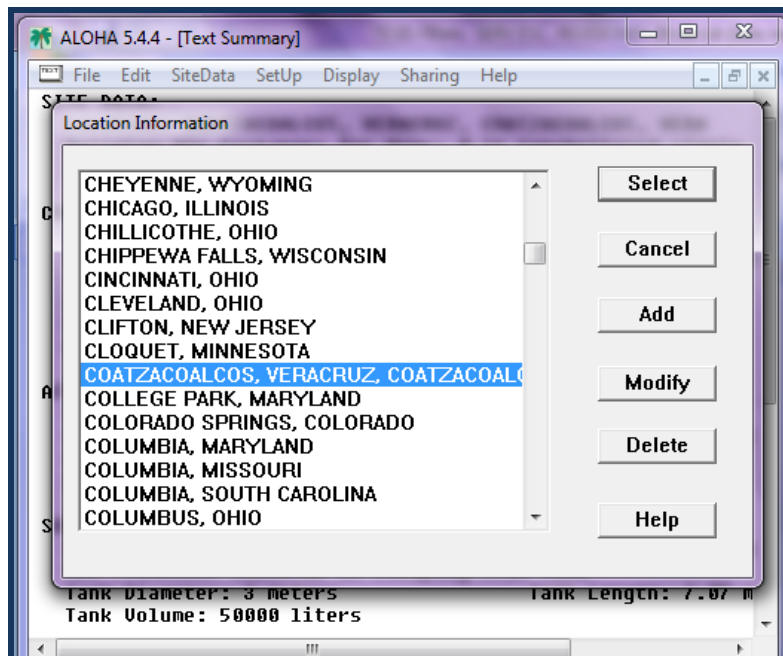
- Merplot (Mapping Applications for Response, Planing, and Operational Tasks) es un programa para trazar mapas de interés que muestran caminos, instalaciones, escuelas, rutas de evacuación y en general información útil para la respuesta y planificación a la emergencia. Sobre los mapas, se pueden marcar las zonas de riesgos simuladas.
- ALOHA (Areal Locations of hazardous Atmospheres) es un modelo de dispersión atmosférica utilizado para la evaluación de la dispersión de las emisiones de gases químicos peligrosos.

### **5.1. ALOHA**

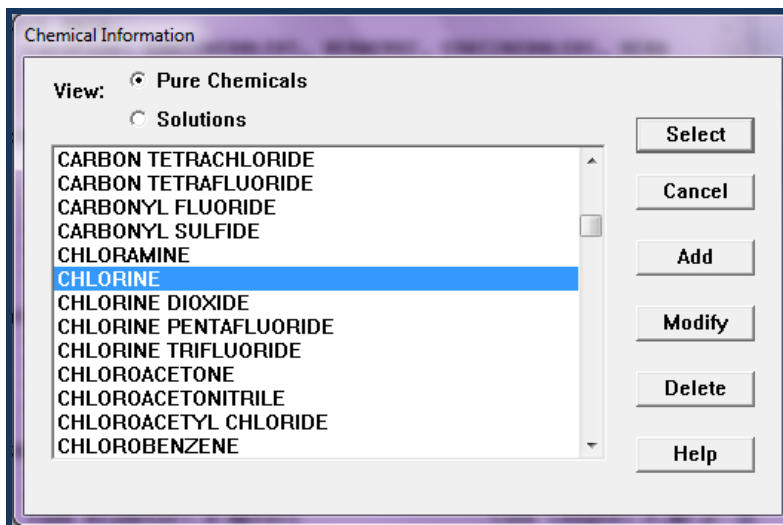
La predicción de fugas de materiales tóxicos en ALOHA se basa en información contenida en bases de datos y en datos suministrados por el usuario. Ésta incluye las dimensiones de tanques de almacenamiento, ductos, diques y cantidades de materiales almacenados y sus propiedades físicas y químicas, así como condiciones meteorológicas prevalecientes. Otras características importantes de ALOHA es que la estimación de emisiones a la atmósfera, las cuales abarcan un periodo máximo de una hora, puede incluir cantidades variables en el tiempo, que son promediadas y alimentadas a uno de dos módulos con que cuenta el programa para hacer cálculos de dispersión. Uno de estos módulos, es un modelo Gaussiano que permite predecir el campo de concentraciones en la atmósfera generado por materiales con densidades similares a la del aire y el otro, una versión simplificada de DEGADIS, permite moderar el comportamiento de gases cuya densidad es mayor a la del aire. Ambos modelos generan gráficas de concentraciones y dosis que el usuario puede previamente definir. En el caso de gases densos, los algoritmos que contiene ALOHA manejan el campo cercano considerando esta propiedad explícitamente, y el campo lejano como un gas que se dispersa con una densidad similar a la del aire. En este segundo caso, los algoritmos toman en cuenta el posible atrapamiento de vapores entre el suelo e inversiones térmicas intensas presentes a baja altura.

## 5.2. EJEMPLO DE ALOHA; MODELACIÓN DE UNA NUBE DE VAPOR TÓXICO USANDO CLORO COMO SUSTANCIA MODELO.

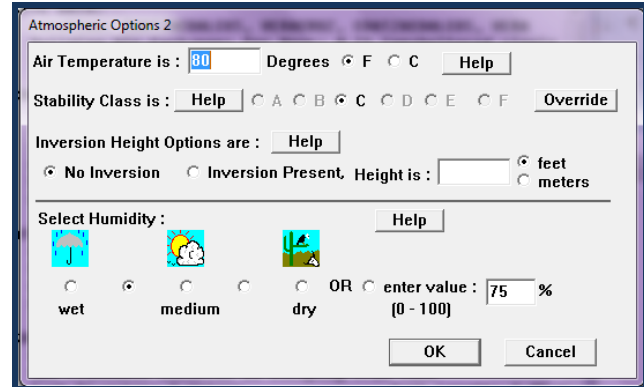
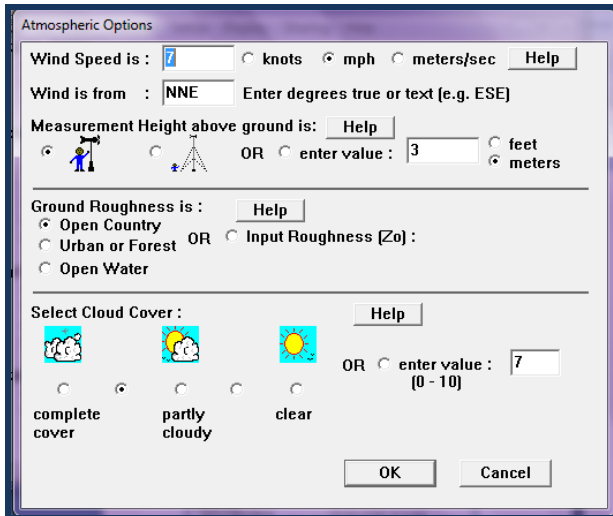
1.- En primera instancia se pide introducir la localización del lugar, en caso de México es necesario introducir latitud y longitud:



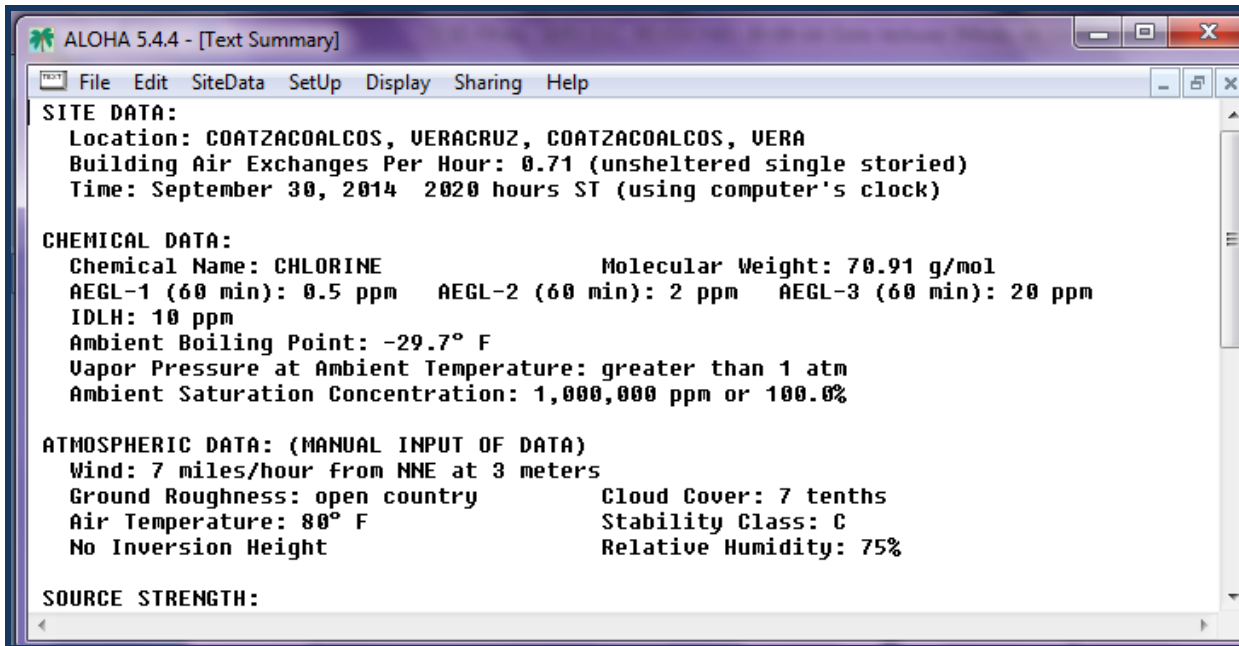
2.- Se elige la sustancia química (cloro):



3.- Se introducen todos los datos atmosféricos aproximados de la zona en donde se encuentra el tanque:



4.- Con todos los datos anteriores, se mostrará la información de la siguiente manera:





5.- Una vez que se tienen todos los datos de localización y atmosféricos, se pasará a la parte de la selección del tanque, en donde se introducirán las dimensiones, posición, capacidad, nivel del tanque, lugar, diámetro del orificio (dato importante para la simulación), etc:

Tank Size and Orientation

Select tank type and orientation:

Horizontal cylinder     Vertical cylinder     Sphere

Enter two of three values:

diameter         feet     meters

length         liters     cu meters

volume   

Liquid Mass or Volume

Enter the mass in the tank OR volume of the liquid

The mass in the tank is:      pounds  
 tons[2,000 lbs]  
 kilograms

OR

Enter liquid level OR volume

gallons     cubic feet

The liquid volume is:      liters     cubic meters

% full by volume

Area and Type of Leak

Select the shape that best represents the shape of the opening through which the pollutant is exiting

Circular opening     Rectangular opening

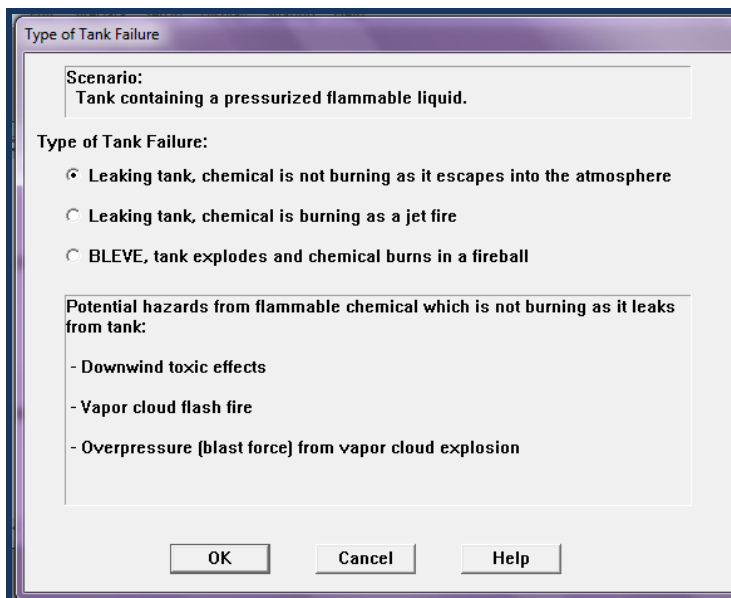
inches     feet  
 centimeters     meters

Opening diameter:

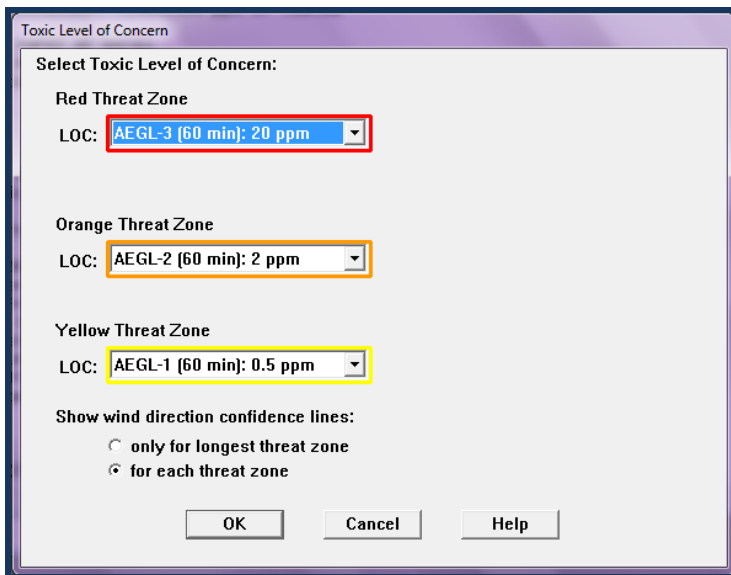
Is leak through a hole or short pipe/valve?

Hole     Short pipe/valve

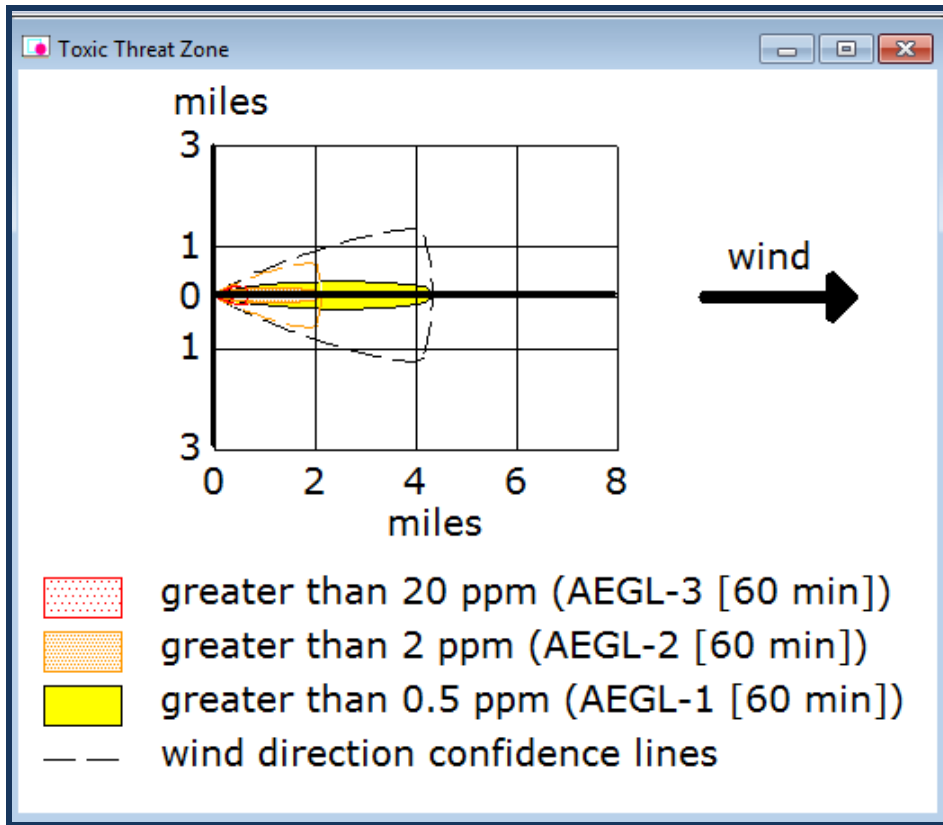
6.- Se selecciona el tipo de incidente ocurrido, en este caso se selecciona fuga, sin flama ni explosión:



7.- Se pide que se analice el peligro por cada área afectada por la nube de vapor:



8.- Como resultado se tiene la siguiente imagen y la tabla en donde se indican las distancias de cada zona:



```

ALOHA 5.4.4
File Edit SiteData SetUp Display Sharing Help

THREAT_ZONE:
Model Run: Heavy Gas
Red : 1123 yards --- (20 ppm = AEGL-3 [60 min])
Orange: 2.1 miles --- (2 ppm = AEGL-2 [60 min])
Yellow: 4.3 miles --- (0.5 ppm = AEGL-1 [60 min])
  
```

## 6. PLANTEAMIENTO DE ESCENARIOS

Para este trabajo se utilizó el software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres). Este modelo se utiliza para determinar los efectos de gases y vapores tóxicos o derrames de materiales cuyos vapores sean más o menos pesados que el aire. De éste, se obtienen números y gráficos de las dosis y concentraciones a las distancias de interés, constituyéndose como un modelo de dispersión atmosférica utilizado para la evaluación de las emisiones de vapores de productos químicos peligrosos. Es parte del software CAMEO, un sistema de aplicaciones de software ampliamente utilizado para planificar y responder a las emergencias químicas en E.U.A.

Este modelo necesita información previa:

- 1.- Características principales del material como: Propiedades físicas (densidad, solubilidad, límites de inflamabilidad, presión de vapor, etc.), condiciones de almacenamiento (temperatura, presión), otras propiedades ( TLV, IDLH, compatibilidad, etc.).
- 2.- Tipo de localidad: urbana, rural, topografía.
- 3.- Tamaño y cantidad del derrame: gasto por minuto, forma, dimensiones o profundidad.
- 4.- Condiciones climáticas: día, noche, nubosidad, humedad, viento (dirección y velocidad), estabilidad.

Los resultados que se obtienen en forma de gráficas o numéricos son:

- a) Áreas de afectación como nubes tóxicas o inflamables.
- b) Dirección de "plumas" y alcance de nubes tóxicas e inflamables
- c) Radios de afectación por radiación térmica

### **6.1. SIMULACIÓN DE FUGAS DE AMONIACO CON TANQUES DE DISTINTAS CAPACIDADES.**

Para este trabajo se consideraron distintas condiciones climáticas, entre ellas temperatura ambiente, velocidad y dirección del viento, humedad y características del terreno así como

las rutas en las que los materiales son transportados. Así mismo se seleccionó la posición en la que el tanque podría encontrarse, la condición que representará el riesgo de fuga o derrame; válvula abierta, válvula dañada y ruptura circular. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 12.

Temperatura ambiente: 20 °C

Velocidad y dirección del viento: 20 Km/h

Humedad: 50%

Tabla 12. Resultados de simulaciones en ALOHA con tanques que presenten orificio con 0.5 pulgadas de diámetro de ruptura.

Archivo	Sustancia química	Nivel de ruptura	Diámetro de ruptura	Capacidad de tanque	Área roja	Área naranja	Área amarilla
Am500Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	500 L	142 m	413 m	1011 m
Am1000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	1000 L	143 m	413 m	1012 m
Am1500Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	1500 L	142 m	413 m	1011 m
Am2000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	2000 L	144 m	415 m	1015 m
Am2500Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	2500 L	142 m	414 m	1011 m
Am3000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	3000 L	145 m	415 m	1015 m
Am3500Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	3500 L	142 m	413 m	1011 m
Am4000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	4000 L	143 m	413 m	1012 m
Am4500Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	4500 L	145 m	415 m	1015 m
Am5000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	5000 L	142 m	414 m	1013 m
Am3300Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	3300 L	142 m	412 m	1011 m
Am5500Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	5500 L	142 m	413 m	1014 m
Am8000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	8000 L	145 m	414 m	1015 m
Am38000Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	38000 L	145 m	415 m	1017 m
Am45690Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	45690 L	143 m	412 m	1018 m
Am53100Tesis	NH <sub>3</sub>	10%	0.5 in	53100 L	144 m	415 m	1018 m
AmCTciudadTesis	NH <sub>3</sub>	20%	2 in	106029 L	602 m	1770 m	4345 m

De acuerdo a los resultados de esta tabla, es fácil apreciar que no importa la capacidad del tanque, las áreas de afectación serán las mismas, siempre y cuando el diámetro del orificio donde se fuga la sustancia tenga las mismas dimensiones.

Cuando el orificio es de diferente tamaño, las áreas de afectación serán diferentes (más adelante se observará en el ejemplo).

## 6.2. EJEMPLOS

Las siguientes simulaciones fueron realizadas empleando información de tanques de almacenamiento de amoniaco de diferentes empresas localizadas en el D.F. y muestran la afectación en caso de una ruptura de ½" (tabla 13) y de 1" (tabla 14).

Se trabajó con datos de las empresas: Grupo Modelo, Grupo Lala, Grupo Pisa y un Almacén de Hielo.

Tabla 13. Resultados de ALOHA para una ruptura de ½".

Empresa	Coordenadas Geográficas	Sustancia Química	Nivel de ruptura	Diámetro de ruptura	Capacidad de Tanque	Area Roja	Area Naranja	Area Amarilla
G.MODELO	19° 26' 27.20" N 99° 11' 19.90" W	Amoniaco	10%	0.5 in	5000 L	143 m	413 m	1012 m
G.LALA	19° 30' 08.19" N 99° 10' 26.98" W	Amoniaco	10%	0.5 in	8000 L	144 m	417 m	1018 m
G.PISA	19° 20' 40.20" N 99° 10' 05.60" W	Amoniaco	10%	0.5 in	500 L	144 m	415 m	1015 m
ALM. DE HIELO	19° 16' 37.30" N 99° 07' 55.58" W	Amoniaco	10%	0.5 in	1000 L	145 m	416 m	1016 m

Tabla 14.- Resultados de ALOHA para una ruptura de 1".

Empresa	Archivo	Sustancia Química	Nivel de ruptura	Diámetro de ruptura	Capacidad de Tanque	Area Roja	Area Naranja	Area Amarilla
G.MODELO	19° 26' 27.20" N 99° 11' 19.90" W	Amoniaco	10%	1 in	5000 L	298 m	861 m	2092 m
G.LALA	19° 30' 08.19" N 99° 10' 26.98" W	Amoniaco	10%	1 in	8000 L	291 m	851 m	2092 m
G.PISA	19° 20' 40.20" N 99° 10' 05.60" W	Amoniaco	10%	1 in	500 L	290 m	836 m	1931 m
ALM. DE HIELO	19° 16' 37.30" N 99° 07' 55.58" W	Amoniaco	10%	1 in	1000 L	293 m	851 m	2092 m

Con base en los resultados obtenidos con el programa ALOHA, se puede concluir que no importa la capacidad del tanque para determinar las áreas de afectación, lo que importa es el tamaño del orificio de la fuga.

# Hojas obtenidas usando el programa ALOHA para los diferentes tanques (0.5 pulgadas de diámetro)

## Text Summary

ALOHA® 5.4.4



### SITE DATA:

Location: GRUPO MODELO-DEL. MIGUEL HID, MIGUEL HIDALGO, DF  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.98 (unsheltered single storied)  
Time: April 2, 2014 1846 hours ST (user specified)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min):  
1100 ppm  
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm  
Ambient Boiling Point: -30.7° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from NNE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

### SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 1.3 meters Tank Length: 3.77 meters  
Tank Volume: 5000 liters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 2.86 tons Tank is 85% full  
Circular Opening Diameter: 0.5 inches  
Opening is 0.13 meters from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 103 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 5,424 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

### THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
Red : 156 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Orange: 452 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Yellow: 1107 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])

## Text Summary

ALOHA® 5.4.4



### SITE DATA:

Location: GRUPO LALA-DEL. AZCAPOT, GRUPO LALA-DF  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.98 (unsheltered single storied)  
Time: April 2, 2014 1900 hours ST (using computer's clock)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min):  
1100 ppm  
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm  
Ambient Boiling Point: -29.8° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from NNE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

### SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 1.5 meters Tank Length: 4.53 meters  
Tank Volume: 8000 liters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 4.58 tons Tank is 85% full  
Circular Opening Diameter: 0.5 inches  
Opening is 0.15 meters from tank bottom  
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour  
Max Average Sustained Release Rate: 103 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 6,055 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

### THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
Red : 158 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Orange: 456 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Yellow: 1113 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])



## Text Summary

ALOHA® 5.4.4



### SITE DATA:

Location: PISA-COYOACAN, PISA-COYOACAN  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.98 (unsheltered single storied)  
Time: April 2, 2014 1846 hours ST (user specified)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min):  
1100 ppm  
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm  
Ambient Boiling Point: -29.4° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from NNE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

### SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 0.6 meters Tank Length: 1.77 meters  
Tank Volume: 500 liters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 0.29 tons Tank is 85% full  
Circular Opening Diameter: 0.5 inches  
Opening is 0.18 meters from tank bottom  
Release Duration: 8 minutes  
Max Average Sustained Release Rate: 103 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 534 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

### THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
Red : 158 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Orange: 454 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Yellow: 1110 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])

## Text Summary

ALOHA® 5.4.4



### SITE DATA:

Location: TEPEPAN-XOCHIMILCO, TEPEPAN DF  
Building Air Exchanges Per Hour: 0.98 (unsheltered single storied)  
Time: April 2, 2014 1846 hours ST (user specified)

### CHEMICAL DATA:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 g/mol  
AEGL-1 (60 min): 30 ppm AEGL-2 (60 min): 160 ppm AEGL-3 (60 min):  
1100 ppm  
IDLH: 300 ppm LEL: 150000 ppm UEL: 280000 ppm  
Ambient Boiling Point: -28.5° F  
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm  
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

### ATMOSPHERIC DATA: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 5 meters/second from NNE at 3 meters  
Ground Roughness: urban or forest Cloud Cover: 5 tenths  
Air Temperature: 20° C Stability Class: D  
No Inversion Height Relative Humidity: 50%

### SOURCE STRENGTH:

Leak from short pipe or valve in vertical cylindrical tank  
Flammable chemical escaping from tank (not burning)  
Tank Diameter: 1 meters Tank Length: 1.27 meters  
Tank Volume: 1000 liters  
Tank contains liquid Internal Temperature: 20° C  
Chemical Mass in Tank: 0.57 tons Tank is 85% full  
Circular Opening Diameter: 0.5 inches  
Opening is 0.13 meters from tank bottom  
Release Duration: 14 minutes  
Max Average Sustained Release Rate: 103 pounds/min  
(averaged over a minute or more)  
Total Amount Released: 1,034 pounds  
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

### THREAT ZONE:

Model Run: Heavy Gas  
Red : 159 yards --- (1100 ppm = AEGL-3 [60 min])  
Orange: 455 yards --- (160 ppm = AEGL-2 [60 min])  
Yellow: 1111 yards --- (30 ppm = AEGL-1 [60 min])

### **6.3. APLICACIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA**

Un Sistema de Información Geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real que están vinculados a una referencia espacial, facilitando la incorporación de aspectos sociales-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

En el sentido más estricto, es cualquier sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico, los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

### **6.4. PROPUESTA CON AMONIACO**

Esta parte del trabajo se realizó tomando en cuenta el tanque localizado en el Almacén de Hielo ubicado en Tepepan en la delegación Xochimilco, México D.F.

Se eligió el amoniaco como sustancia modelo por ser uno de los productos químicos con mayor número de accidentes en México, de acuerdo a las estadísticas arrojadas por CENAPRED y PROFEPA.

Se utilizaron mapas internacionales y bases de datos obtenidos por el INEGI, los cuales deben estar en archivos compatibles para poder sincronizarlos

Para este caso, con la ayuda de un especialista en mapas, se colocó una imagen (circular) con distancias reales a las arrojadas por ALOHA, de acuerdo a las áreas afectadas de la simulación antes realizada.

Se creó una figura circular para el área roja, posteriormente una figura en forma de “dona” para la naranja (en donde no se incluya la roja), y finalmente otra “dona” para la amarilla (en esta ocasión no se toma en cuenta el área roja y naranja).

Se debe tener esta información en archivos .kmz para poder hacer la sincronización y que al momento de sobreponer la figura en los mapas, de acuerdo a la información de INEGI, se arrojen los datos que se requieren conforme a la población y las zonas afectadas.

Por cuestiones prácticas y de tiempo se utilizarán círculos, aunque se propone utilizar una sección de un círculo (1/24)

A continuación se presentaran imágenes de lo antes mencionado, utilizando dos diámetros de orificio de fuga diferentes.

**DIÁMETRO DE LA FUGA EN LA VÁLVULA: 0.5 PULGADAS.**

Figura 11. Ubicación de zonas en el área afectada por la fuga en el tanque del almacén de hielo (1/2”).

Superposición de figura.



Figura 12. Datos de población afectada, proporcionados por el INEGI de acuerdo a las zonas de afectación con la superposición de los círculos correspondientes a las áreas de ALOHA (1/2”).

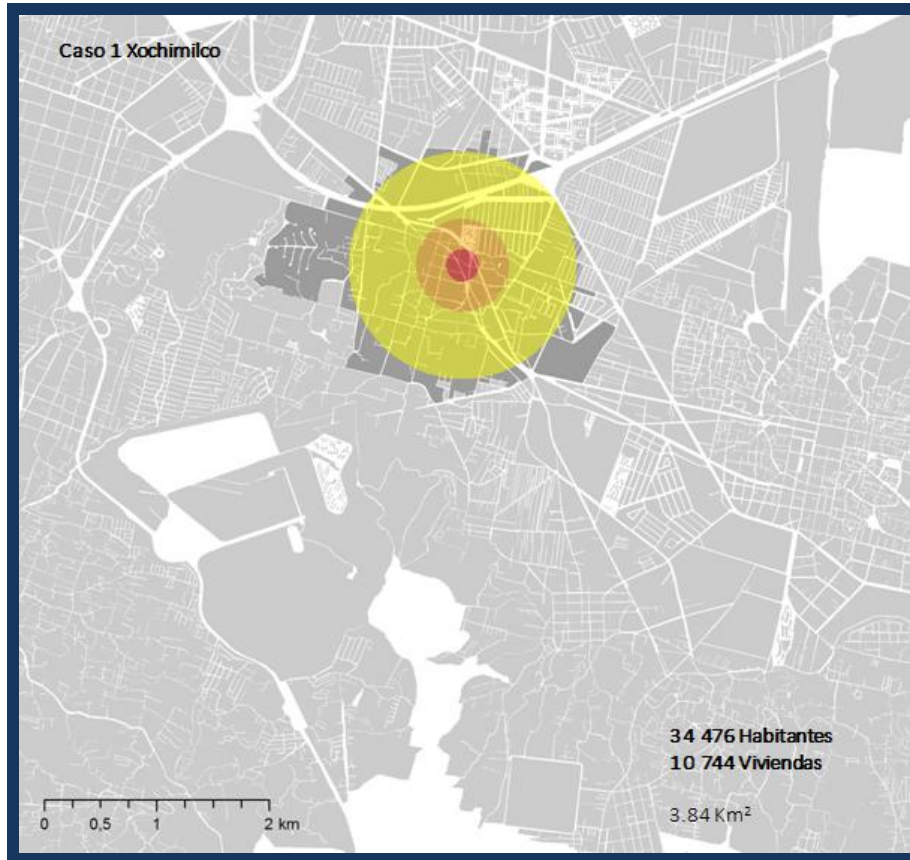
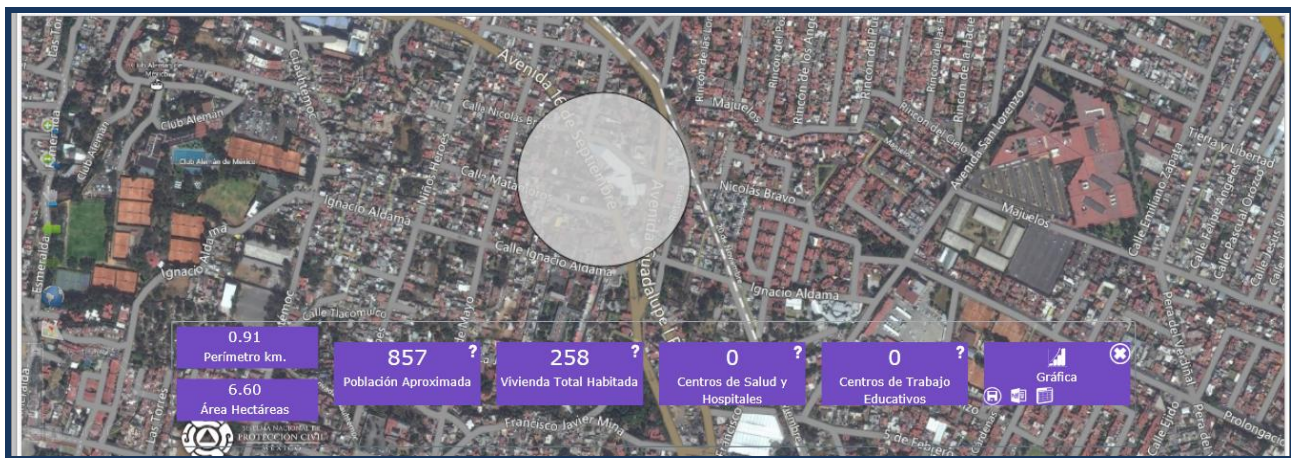


Figura 13. Datos de población en la zona roja, área de primera instancia en emergencia (1/2”).



(Información proporcionada por CENAPRED, 30 de Septiembre del 2014)

## DIÁMETRO DE LA FUGA EN VÁLVULA: 1 PULGADA.

Figura 14. Ubicación de zonas en el área afectada por la fuga en tanque del almacén de hielo (1").

Superposición de figura.



Figura 15. Datos de población afectada, proporcionados por el INEGI de acuerdo a las zonas de afectación con la superposición de los círculos correspondientes a las áreas de ALOHA (1”).

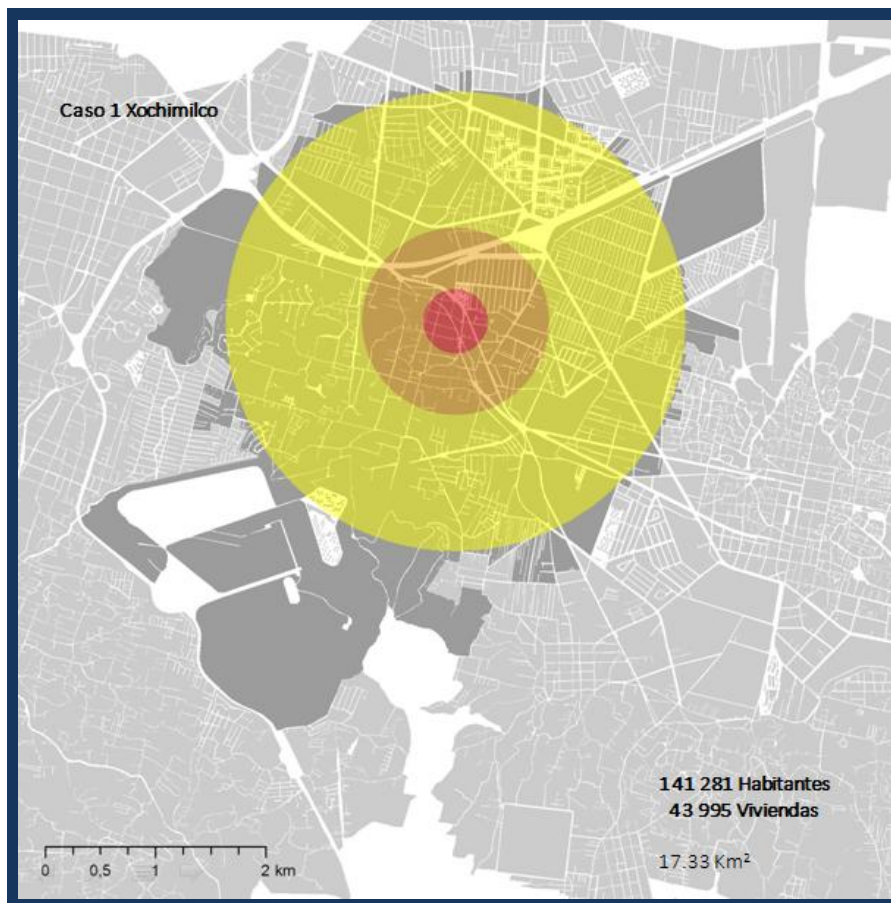
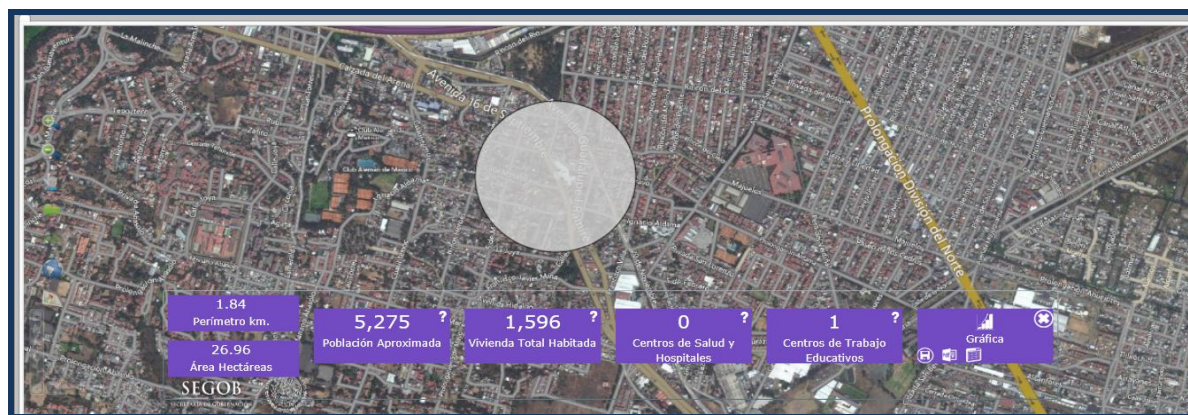


Figura 16. Datos de población en la zona roja, área de primera instancia en emergencia (1”).



(Información proporcionada por CENAPRED, 30 de Septiembre del 2014)

## 7. RECOMENDACIONES

De acuerdo con el conocimiento previo relativo a fugas de amoníaco y el efecto que se tiene en zonas urbanas, se recomienda usar agua como respuesta, ya que el amoníaco es soluble en ella (33.1 a 20 °C, referencia: hoja de seguridad de NH<sub>3</sub> en la FQ).

Lo que se propone es colocar una regadera por encima del tanque con un sistema de emergencia. El costo de este sistema, en comparación al daño ocasionado por una fuga, es mínimo.

De acuerdo al ejemplo de la fábrica de Hielo, ubicada en Tepepan, Xochimilco, que tiene un tanque de 1000 litros de NH<sub>3</sub> se realizarán los cálculos necesarios para colocar una regadera de emergencia capaz de actuar en caso de fuga.

Se desea hacer el cálculo con 20% de solubilidad del NH<sub>3</sub> en agua, si bien la solubilidad reportada en bibliografía es de 33.1% a 20°C, se usará el valor de 20% para mayor seguridad.

Se sabe que 386 Kg de NH<sub>3</sub> es el total que saldrá del tanque en 14 minutos (tiempo que dura la fuga, dato arrojado por ALOHA) lo que va equivaler al 20%. Por lo tanto se calcula la cantidad de agua que se necesita para mitigar la fuga.

$$\frac{100\% \text{ peso (386 Kg)}}{20\% \text{ peso}} = 1930 \text{ Kg agua}$$

Si se multiplica por 1.5 la cantidad de agua que se necesita para la fuga da 2895 Kg de agua, de acuerdo a la equivalencia 1:1 serían 2895 Litros de agua. Por lo que se concluye que se requiere una cisterna con la capacidad mínima de 3,000 litros de agua.

Para el cálculo del flujo se realiza lo siguiente:

$$\frac{1930 \text{ Kg agua}}{14 \text{ min}} = 138 \frac{\text{Kg agua}}{\text{min}}$$

Este dato es el indispensable para la selección de la bomba, ya que con el flujo y las pérdidas por fricción es posible seleccionar la más adecuada.

Se recomienda instalar una bomba cuya potencia será de 1 H.P.



## 8. CONCLUSIONES

1.- Al integrar la propuesta del sistema de información geográfica con los datos del INEGI se arrojan datos importantes en los que se pueden destacar las zonas afectadas y la cantidad de habitantes expuestos dentro de éstas. Esto con la finalidad de conocer el número total de población en cualquier tipo de emergencia y por consiguiente se efectuen las decisiones adecuadas.

2.- Se presenta el cálculo de emisiones los cuales fueron obtenidos en las simulaciones por ALOHA, las áreas (roja, naranja y amarilla) se toman en cuenta desde la localización del tanque y no de la periferia de la empresa.

3.- Como ya se detalló en este documento es necesario darle la importancia adecuada al manejo y almacenamiento de amoniaco ya que se encuentra dentro de las 5 sustancias químicas con mayor riesgo y mayor cantidad de almacenamiento en México.

3.- Es necesario hacer del conocimiento a las empresas acerca de la importancia de tener un plan de contingencia para cualquier situación que cause daños a la población y de esta manera evitar consecuencias graves.

4.- Considerando el impacto a la población que tiene una fuga de amoniaco se propone una forma de mitigación, que en un análisis simple en el que se recomienda la instalación de una regadera que cubra el tanque, ésta debe contar con un sistema de emergencia independiente. Comparado con la afectación a la población cuando ocurre una emergencia la inversión es necesaria.

5.- Es de suma importancia destacar que los conocimientos obtenidos durante la estancia en la carrera de ingeniería química no son bastos para contemplar este tipo de situaciones. Es por ello que recomendaría adicionar al plan de estudios asignaturas que nos formen de una mejor manera para poder enfrentar cualquier tipo de situaciones en la vida laboral.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Guía Básica para la Elaboración de Atlas Estatales y Municipales de Peligros y Riesgos, Serie atlas Nacional de Riesgos, CENAPRED, 2006.
2. Guía Práctica sobre Riesgos Químicos, CENAPRED, 2013.
3. Identificación de Peligros por Almacenamiento de Sustancias Químicas en Industrias de Alto Riesgo en México, CENAPRED.
4. Harten, John. Guía de las sustancias Contaminantes. Editorial Grijalbo S. A. 1995.
5. Hazardous Materials Transportation Risk Analysis Quantitative Approaches for Truk and Train, William R. Rhyne, Van Nostrand Reinhold 1994.
6. IPCS (Programa Internacional de Seguridad de las Sustancias Químicas) y CCE (Comisión de las Comunidades Europeas), Fichas Internacionales de Seguridad Química.
7. Organización Internacional del Trabajo (OIT). Enciclopedia OIT. Industria del Transporte y el Almacenamiento.
8. CRANE, Flujo de fluidos en Válvulas Accesorios y Tuberías, McGraw-Hill.
9. H. Perry, D.W. Green, J. O. Maloney Manual del Ingeniero Químico, McGraw-Hill.

### Sitios de Internet

1. <http://www.cepis.ops-oms.org>
2. <http://www.ine.gob.mx>
3. <http://www.aniq.con.mx>
4. <http://www.cenapred.gob.mx>
5. <http://www.profepa.gob.mx>
6. <http://www.semarnat.gob.mx>
7. <http://www.inegi.org.mx>
8. <http://www.epa.gov>

## 10. ANEXO

Tabla 15. Población por manzanas en la Delegación Xochimilco. (sólo una sección)

ENTIDAD	NOM_ENT	MUN	NOM_MUN	LOC	NOM_LOC	AGEB	MZA	POBTOT	VIVTOT	ACEGEO
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0000	Total del municipio	0000	000	415007	112943	0901300000000000
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Total localidad urbana	0000	000	407885	110887	0901300010000000
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Total AGEB urbana	0014	000	6356	1846	0901300010014000
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	001	140	46	0901300010014001
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	002	57	10	0901300010014002
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	003	170	57	0901300010014003
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	004	159	54	0901300010014004
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	005	166	45	0901300010014005
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	006	93	28	0901300010014006
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	007	33	8	0901300010014007
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	008	114	45	0901300010014008
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	009	54	23	0901300010014009
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	010	68	24	0901300010014010
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	011	276	74	0901300010014011
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	012	286	78	0901300010014012
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	013	544	144	0901300010014013
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	014	1063	277	0901300010014014
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	015	84	35	0901300010014015
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	016	173	40	0901300010014016
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	017	59	18	0901300010014017
09	Distrito Federal	013	Xochimilco	0001	Xochimilco	0014	018	140	35	0901300010014018