

01177₁₄



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

POSGRADO EN INGENIERIA

**ALMACENAMIENTO, TRANSPORTE Y DISTRIBUCIÓN DE
AMONIACO, MEDIDAS DE PREVENCIÓN PARA SU MANEJO
SEGURO**

T E S I S

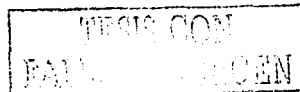
PARA OBTENER EL GRADO DE:
M. en I. AMBIENTAL
P R E S E N T A:

I.Q. MAYRA MOHENO MARTINEZ

DIRECTORA DE TESIS:
DRA. GEORGINA FERNANDEZ VILLAGÓMEZ

MÉXICO, D. F. ABRIL 2003

UNAM
POSGRADO





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

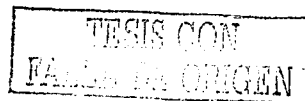
Este trabajo fue realizado con el apoyo e infraestructura del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) y en especial bajo la dirección de la Dra. Georgina Fernández Villagómez.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

8

INDICE

| | |
|---|-----|
| Índice de tablas | I |
| Índice de gráficas | II |
| Índice de figuras | III |
| Índice de anexos | IV |
| Índice de abreviaturas | V |
| Introducción | VII |
| Capítulo I Generalidades | 1 |
| 1.1 Historia del amoniaco | |
| 1.2 Propiedades fisicoquímicas del amoniaco | |
| 1.3 Proceso y síntesis del amoniaco | |
| 1.4 Usos más comunes del amoniaco | |
| 1.5 Producción Nacional del amoniaco | |
| 1.6 Efectos tóxicos del amoniaco | |
| 1.7 Accidentes con amoniaco | |
| Capítulo II Legislación referente al uso y manejo del amoniaco | 19 |
| 2.1 Nacional | |
| 2.2 Ley General de protección Civil | |
| 2.3 Internacional | |
| Capítulo III Selección del método para modelar matemáticamente nubes tóxicas | 22 |
| 3.1 Justificación de la modelación matemática | |
| 3.2 Clasificación de los modelos | |
| 3.3 Parámetros de la modelación matemática | |
| 3.4 Selección del modelo a aplicar | |
| 3.5 características del paquete comercial seleccionado | |
| Capítulo IV Selección de los escenarios de alto riesgo | 28 |
| 4.1 Criterios de selección | |
| 4.1.1 Criterios de selección del sitio en la distribución | |
| 4.1.2 Criterios de selección del sitio en el almacenamiento | |



C

| | | |
|--|--|----|
| 4.1.3 | Criterios de selección del sitio en el transporte | |
| 4.1.4 | Criterios de modelación en cada actividad | |
| 4.2 | Selección de los sitios | |
| 4.2.1 | Sitios para la modelación en la distribución | |
| 4.2.2 | Sitios para la modelación en el almacenamiento | |
| 4.2.3 | Sitios para la modelación en el transporte | |
| 4.3 | Selección de los escenarios | |
| 4.2.4 | Condiciones meteorológicas | |
| 4.2.5 | Escenarios de liberación | |
| 4.2.6 | Características de la fuente de emisión | |
| 4.2.7 | Características del receptor | |
| Capítulo V | | 34 |
| Discusión de resultados obtenidos de la modelación matemática | | |
| 5.1 | Resultados de la simulación | |
| 5.2 | Análisis de los resultados de la simulación | |
| Capítulo VI | | 44 |
| Propuestas de medidas de seguridad para el manejo del amoniaco | | |
| 6.1 | Medidas de seguridad para la distribución de amoniaco | |
| 6.2 | Medidas de seguridad para el almacenamiento de amoniaco | |
| 6.3 | Medidas de seguridad para el transporte de amoniaco | |
| 6.4 | Medidas de seguridad propuestas por la guía de respuesta en caso de emergencia | |
| 6.5 | Comparación entre las medidas de seguridad propuestas y las medidas de GRENA | |
| Conclusiones | | 50 |
| Anexos | | 52 |
| Referencias | | 65 |

TESIS CON
 FALLO DE ORIGEN

0

INDICE DE TABLAS

| | | |
|-----|---|----|
| 1.1 | Antecedentes de amoniaco | 1 |
| 1.2 | Ramas industriales que involucran amoniaco | 7 |
| 1.3 | Producción Nacional de amoniaco | 8 |
| 1.4 | Efectos a la salud por contacto con amoniaco | 10 |
| 1.5 | Accidentes ocurridos en México en empresas desde 1994 a 2000 | 10 |
| 1.6 | Accidentes ocurridos en el transporte en México desde 1995 a 2000 | 15 |
| 1.7 | Accidentes internacionales ocurridos por la presencia de amoniaco desde 1975 a 1997 | 17 |
| 2.1 | Normatividad aplicable a los materiales y residuos Peligrosos | 19 |
| 2.2 | Normas Oficiales Mexicanas | 20 |
| 2.3 | Normas Mexicanas | 20 |
| 2.4 | Reglamentos internacionales | 21 |
| 3.1 | Características del paquete de simulación Aloha | 27 |
| 4.1 | Condiciones meteorológicas de los sitios de Distribución | 31 |
| 4.2 | Condiciones meteorológicas de los sitios de Almacenamiento | 31 |
| 4.3 | Condiciones meteorológicas de los sitios de Transporte | 32 |
| 4.4 | Dimensiones de los amoni ductos | 33 |
| 4.5 | Dimensiones de los tanques de almacenamiento | 33 |
| 4.6 | Dimensiones del tanque para el transporte | 33 |
| 5.1 | Resultados de la simulación en la distribución | 34 |
| 5.2 | Resultados de la simulación en el almacenamiento | 34 |
| 5.3 | Resultados de la simulación en el transporte | 35 |
| 5.4 | Análisis de resultados de la simulación de amoniaco | 43 |
| 6.1 | Medidas de seguridad proporcionadas por GRENA, 2000 | 47 |
| 6.2 | Tabla de distancias de aislamiento para proporcionadas por GRENA, 2000 | 48 |
| 6.3 | Comparación entre las medidas de seguridad de GRENA, 2000 y el trabajo de tesis | 48 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

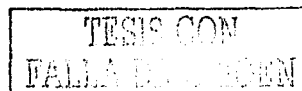
INDICE DE GRÁFICAS

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Producción nacional de amoníaco | 8 |
| 2 | Clase de accidente y porcentaje de ocurrencia en la industria por manejo de amoníaco | 12 |
| 3 | Frecuencia de accidente en la industria ocurridos en los últimos años | 12 |
| 4 | Fuentes de información de los accidentes ocurridos | 13 |
| 5 | Origen de los accidentes ocurridos | 13 |
| 6 | Ramas industriales con mayor incidencia de accidentes | 14 |
| 7 | Lugares donde ocurrieron los accidentes | 14 |
| 8 | Clase de accidente y porcentaje de ocurrencia en el transporte | 16 |
| 9 | Frecuencia de accidentes en el transporte de amoníaco en los últimos años | 16 |
| 10 | Frecuencia de accidentes en la industria en el mundo de 1976 a 1997 | 17 |
| 11 | Clase de accidentes y porcentaje de ocurrencia en el mundo | 18 |
| 12 | Clase de accidente y porcentaje de ocurrencia por manejo de amoníaco en el mundo | 18 |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE DE FIGURAS

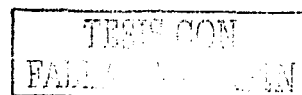
| | | |
|------|---|----|
| 1.1 | Diagrama del proceso Haber-Bosch | 4 |
| 1.2 | Diagrama del proceso Lurgi | 4 |
| 1.3 | Diagrama del proceso Koppers- Totzek | 5 |
| 1.4 | Diagrama del proceso de gasificación Shell | 5 |
| 1.5 | Diagrama del proceso de gasificación Texaco | 6 |
| 1.6 | Diagrama del proceso de Reforma de vapor | 6 |
| 4.1 | Sitios donde se llevaron a cabo las modelaciones en cada actividad | 30 |
| 4.2 | Prototipo de una fuga instantánea | 32 |
| 5.1 | Distancia en donde la concentración se difunde en la distribución en condiciones extremas | 36 |
| 5.2 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en la distribución en condiciones extremas | 36 |
| 5.3 | Distancia en donde la concentración se difunde en la distribución en condiciones frecuentes | 36 |
| 5.4 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en la distribución en condiciones frecuentes | 37 |
| 5.5 | Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones extremas (Monterrey, N. L.) | 37 |
| 5.6 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones extremas (Monterrey, N. L.) | 38 |
| 5.7 | Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones frecuentes (Monterrey, N. L.) | 38 |
| 5.8 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones frecuentes (Monterrey, N. L.) | 38 |
| 5.9 | Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones extremas (Querétaro, Qro.) | 39 |
| 5.10 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones extremas (Querétaro, Qro) | 39 |
| 5.11 | Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones frecuentes (Querétaro, Qro) | 39 |
| 5.12 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones frecuentes (Querétaro, Qro) | 40 |
| 5.13 | Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones extremas (Coatzacoalcos, Ver.) | 40 |
| 5.14 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones extremas Coatzacoalcos, Ver.) | 40 |
| 5.15 | Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones frecuentes (Coatzacoalcos, Ver.) | 41 |
| 5.16 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones frecuentes (Coatzacoalcos, Ver.) | 41 |
| 5.17 | Distancia en donde la concentración se difunde en el transporte en condiciones extremas | 42 |
| 5.18 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el transporte en condiciones extremas | 42 |



| | | |
|------|---|----|
| 5.19 | Distancia en donde la concentración se difunde en el transporte en condiciones frecuentes | 42 |
| 5.20 | Variabilidad de la concentración con el tiempo en el transporte en condiciones frecuentes | 43 |
| 6.1 | Tipo de mascarilla que debe usarse para protección en fugas de amoniaco | 45 |

INDICE DE ANEXOS

| | | |
|---------|---|----|
| Anexo 1 | Hoja de seguridad de amoniaco | 53 |
| Anexo 2 | Mapa de los sitios donde se almacena amoniaco | 54 |
| Anexo 3 | Simulaciones en condiciones críticas extremas | 55 |
| Anexo 4 | Simulaciones en condiciones críticas frecuentes | 60 |



INDICE DE ABREVIATURAS

Abreviaturas

ACARMEX
ACQUIM
ALOHA

ARCHIE

Art.
C
C
°C
CAS
CCE
CCF
CENAPRED
CFR
CICOPLAFEST

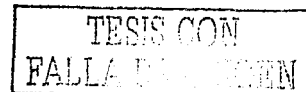
CH₄
CMAP
CO
CO₂
CRETI

D
ENE
Exp
F
g
(g)
GRENA
H₂
H₂O
hrs
INE
INEGI
°K
K.A.R.
kg
km
L

LGEEPA
m
MHIDAS
MI
min
mmHg
Mol
m.s.n.m.
N
N₂
NE
NH₃
NH₄
N.L.
NOM
O₂

Significado

Base de datos de Accidentes Carreteros
Base de datos de Accidentes Químicos
Programa de simulación matemática llamado Localización de Áreas para Atmósferas Peligrosas
Programa de simulación matemática con nombre Recurso Automatizado para Evaluación de Incidentes por Sustancias peligrosas
Artículo
Carbono
Concentración
Grados centígrados
Chemical Abstracts Service, registro de asociación química
Condiciones Críticas Extremas
Condiciones Críticas Frecuentes
Centro Nacional de Prevención de Desastres
Código Federal de Regulaciones
Comisión Intersecretarial para el Control de proceso y uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas
Metano
Clasificación Mexicana de Actividades y Productos
Monóxido de carbono
Dióxido de carbono
Prueba que muestra las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad de un compuesto
Tipo de estabilidad
Coordenada Este Noreste
Exponente
Tipo de estabilidad
Gramos
Se refiere a que el compuesto se encuentra en estado gaseoso
Guía de Respuesta en caso de Emergencia en Norteamérica
Hidrógeno
Agua
Horas
Instituto nacional de Ecología
Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática
Grados Kelvin
Regulaciones Administrativas de Kansas
Kilogramos
Kilómetro
Litros
Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente
Metro
Major Hazard Incidents Data Service. Base de datos de accidentes
Medios de información
Minutos
Milímetros de mercurio
Medida atómica
Metros Sobre el Nivel del Mar
Coordenada que significa Norte
Nitrógeno molecular
Noreste
Amoníaco
Sal amonio
Nuevo León
Norma Oficial Mexicana
Oxígeno molecular



| | |
|----------|---|
| OECD | Organización |
| OECD | Ion oxidrilo |
| ONU | Organización de las Naciones Unidas |
| PEMEX | Petróleos Mexicanos |
| PPA | Programa de Prevención de Accidentes |
| ppm | Partes por millón (medida de concentración) |
| PROFEPA | Procuraduría Federal de Protección al Ambiente |
| Psig | Medida de presión |
| Puff | Modelo matemático de dispersión |
| Qro. | Querétaro |
| s | Segundo |
| SECOFI | Secretaría de Comercio Fomento Industrial, actualmente SE (Secretaría de Economía) |
| SCT | Secretaría de Comunicaciones y Transporte |
| SEGOB | Secretaría de Gobernación |
| SEMARNAT | Secretaría de medio Ambiente y Recursos Naturales. Antes SEMARNAP(Secretaría de Medio Ambiente, Recursos naturales y Pesca) |
| SSA | Secretaría de Salud |
| STPS | Secretaría del Trabajo y Previsión Social |
| UNEP | The United Nations Environment Programme |
| Ver. | Veracruz |
| W | Coordenada Oeste |
| " | Pulgadas |

TESIS CON
FALLA DE CUBRER

INTRODUCCIÓN

En años anteriores a la primera guerra mundial, entró en función la primera planta industrial de amoníaco, debido a que Gran Bretaña había bloqueado a Alemania de suministro de ácido nítrico, el cual era utilizado para la fabricación de los explosivos, en consecuencia, los alemanes se vieron obligados a realizar investigaciones encontrando así, la fijación de hidrógeno y nitrógeno atmosférico mediante un catalizador, resultando la síntesis de amoníaco, del cual también se obtenía el compuesto deseado, este avance permitió que la guerra se prolongara durante tres años (Andrews y Kokes, 1963).

El amoníaco es una valiosa materia prima para la fabricación de productos de la industria, por ejemplo en grandes volúmenes se encuentra su aplicación en la industria agrícola, en la fabricación de explosivos, en los sistemas de refrigeración de la industria alimenticia, en la producción de plásticos así como en la industria química y en menor cantidad se le usa en la industria farmacéutica para la fabricación de medicamentos antipalúdicos, en la industria petrolera para la refinación de algunos aceites entre otras (Keenan, et al, 1992).

En México se produce desde hace una década en promedio 2113.50 toneladas de amoníaco al año, esto es, 5.79 toneladas por día. La única industria productora es Petróleos Mexicanos, y debido a que el producto tiene una gran demanda se importan 261,116.24 toneladas al año en promedio (INEGI, 2000).

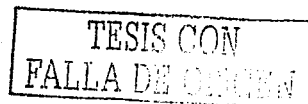
Los efectos tóxicos del amoníaco a la salud, dependen de la forma en que se encuentre, de la concentración que tenga así, como del tiempo de exposición, provocando principalmente irritación en el sistema respiratorio, piel, cuerpo y ojos, por ejemplo en concentraciones como 70 ppm se manifiesta irritación en los ojos y a 5000 ppm produce la muerte instantánea por asfixia (Kirk- Otmeli, 1991).

De acuerdo a información obtenida por dependencias gubernamentales, se sabe que el amoníaco es el compuesto químico que ocupa el segundo lugar en la lista de sustancias con mayor frecuencia de accidentes en México, tanto en la industria como en el transporte. El mayor porcentaje en accidentes ocurridos en la industria por manejo de amoníaco es la fuga con un predominio de 85%, en el transporte se tiene un comportamiento similar. La rama industrial con mayor incidencia en accidentes es la agrícola, esto se explica ya que es donde se utiliza en mayor cantidad el amoníaco, para la fabricación de fertilizantes (ACQUIMACARMEXICENAPREDISEGOB, 2000).

La normatividad establecida para regular al compuesto estudiado, no es aplicativa a las necesidades que se tienen, como lo serían acciones que permitieran tener un manejo seguro de éste, además dichas normas son de carácter voluntario. En relación con lo anterior y a la frecuencia de los accidentes ocurridos, es conveniente el uso de la tecnología y la recopilación de información referente a la sustancia para proporcionar medidas de prevención.

La modelación matemática es una de las alternativas que puede se puede utilizar para describir sucesos reales, permitiendo un conocimiento más profundo de los fenómenos ayudando así a la prevención de incidentes en donde existan riesgos a la salud, es necesario aclarar que la modelación no es la solución a los problemas que se tienen en este campo, sólo es una herramienta para establecer estrategias que ayuden al control de éstos, mediante el análisis del comportamiento de nubes tóxicas generadas por las sustancias en este caso amoníaco y usando los resultados para proponer alternativas mas seguras en su manejo, evitando en lo posible liberaciones accidentales. De tal forma que se tienen para esta tesis los siguientes objetivos:

El presente trabajo propone medidas en materia de seguridad para el manejo, del amoníaco en sitios específicos del país donde se llevan a cabo las principales actividades de almacenamiento transporte y distribución.



Objetivo general:

Dar alternativas para el manejo seguro del amoniaco durante su almacenamiento, transporte y distribución, para una mayor prevención de accidentes con base en las tecnologías y normas vigentes, así como simulaciones matemáticas en condiciones críticas.

Objetivos particulares:

- Realizar revisión bibliográfica del amoniaco, analizando la información presentada en medios escritos y electrónicos.
- Recopilar información sobre accidentes ocasionados por el mal manejo del amoniaco, accedendo a las bases de datos de las asociaciones industriales y dependencias gubernamentales.
- Recopilar legislación referente al uso y manejo del amoniaco tanto nacional como internacional.
- Seleccionar el método más adecuado para la modelación matemática de nubes tóxicas de amoniaco, considerando las condiciones de almacenamiento, distribución y transporte de la sustancia.
- Seleccionar los parámetros se usarán en la modelación de cada actividad, tomando en cuenta la ubicación y el peor escenario.
- Realizar la modelación de emisiones de amoniaco accidentalmente liberadas a la atmósfera durante su almacenamiento, distribución y transporte, usando un paquete comercial.
- Proponer medidas de seguridad para el manejo del amoniaco basándose en los resultados de la modelación.

Alcances:

Este trabajo sólo abarca el manejo del amoniaco en las modalidades de transporte en autotanque, distribución por ductos y almacenamiento, no toma en consideración la actividad de producción.

TESIS CON
FALLA DE CLIENTE

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 HISTORIA DEL AMONIACO

El nitrógeno elemental, constituye el 78% en volumen de la atmósfera terrestre y los compuestos nitrogenados principalmente las proteínas forman parte de todos los seres vivos; el uso más importante de éste elemento es la producción de amoniaco que resulta de la unión directa con hidrógeno (Keenan, e-tal, 1992).

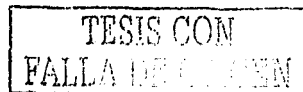
En el Sistema Solar el amoniaco es muy abundante, existiendo en forma de hielo, tanto en las atmósferas de los planetas gigantes como Plutón, como en los astros y en los satélites Caronte, Transneptunianos y cometas. Al igual la nube de Oórt está conformada por miles de millones de pequeños pedazos de hielo y polvo, y éste se encuentra constituido por metano, amoniaco y agua; rodeando como una cáscara al mismo Sistema (<http://www.uat.mx/vinculos/planeta/cometa.htm>).

El amoniaco gaseoso se forma continuamente en la Naturaleza por la descomposición de sustancias nitrogenadas de procedencia animal o vegetal, por esta razón, se le obtenía primitivamente por el calentamiento de residuos animales (cuernos, huesos, etc.) y su disolución acuosa fue conocida por "espíritu de asta de ciervo" (<http://www.uat.mx/vinculos/planeta/cometa.htm>).

1.1 Antecedentes de amoniaco

| Época | Antecedentes |
|---------------------------------------|--|
| Antiguos alquimistas | Oblención a partir del calentamiento de la orina con sal común, denominándolo "espíritu volátil". |
| Egipcios y los árabes. | El cloruro amónico se importó por primera vez en Europa desde Egipto y se obtenía el amoniaco al quemar el excremento de los camellos. Se cree que el nombre "Amoniaco" es quizá de origen egipcio y tiene relación con el nombre del Dios del Sol "Ra-Ammon". |
| 1785 Químico Berthollet. | Dió a conocer su composición química. |
| En 1908 el Químico alemán Fritz Haber | Demostró que el nitrógeno atmosférico podía ser fijado reaccionándolo con hidrógeno para formar el compuesto. Su investigación fue patrocinada por los alemanes que intentaban convertir al amoniaco en ácido nítrico, componente básico en la fabricación de explosivos. En la primera guerra mundial entró en función la primera planta industrial de fabricación de amoniaco. |

Fuente: Andrews y Kokes, 1963; Masterton y Slowinski, 1989.



PAGINACIÓN DISCONTINUA

1.2 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DEL AMONIACO

El amoniaco tambien llamado amoniaco anhidro a temperatura ambiente y presión atmosférica es un gas incoloro, se transporta y almacena bajo presión en forma líquida, se percibe y reconoce fácilmente por su olor desagradable y picante, normalmente es más ligero que el aire (densidad relativa a 0°C de 0.77 g/L), sin embargo la combinación del gas producido apartir del líquido con aire produce una mezcla pesada que permanecerá cerca del suelo. Generalmente es estable pero a temperaturas entre 450 y 500°C (con catalizador temperaturas menores a 350°C), en donde se descompone en nitrógeno e hidrógeno; es un compuesto químicamente activo teniendo incompatibilidad con: Cobre, plata, zinc, aleaciones como el bronce amarillo, gases oxidantes, cloro, bromo, hipoclorito de iodo mineral, halógenos, calcio, ácidos fuertes, mercurio, óxido de plata y compuestos explosivos enlatados (Babor y Aznarez, 1963). En el anexo 1 se da mayor información acerca de sus propiedades fisicoquímicas.

Por ser un gas anhidro, tiene una fuerte afinidad por el agua formando hidróxido de amonio y produciendo calor, por lo cual es extremadamente soluble en ella. Húmedo o en solución se comporta como un álcali. El amoniaco líquido, se expande y a condiciones especiales de presión, su aspecto es semejante al agua, desprendiendo un fuerte olor, que al evaporarse y mezclarse con el aire en proporciones del 16 al 25% en volumen, forma mezclas explosivas (<http://www.ciencia-ficcion.com/glosario/a/amoniaco.htm>).

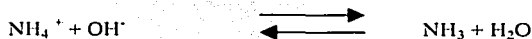
El amoniaco se asemeja al agua más que ningún otro compuesto, ambos son líquidos incoloros; es un disolvente excelente para la mayoría de los compuestos solubles en agua, las diversas reacciones que se llevan a cabo en disolución acuosa tienen lugar en amoniaco líquido; es un mal conductor de la corriente eléctrica al igual que el agua pura, pero cuando se disuelven electrolitos en él se convierte en un buen conductor eléctrico. Sin embargo una de las propiedades del amoniaco a parte de su olor que lo diferencia del agua, es que disuelve los metales alcalinos y alcalinotérreos para formar soluciones reductoras estables; además de compuestos orgánicos como las aminas, compuestos nitrogenados y ácidos sulfónicos aromáticos. El amoniaco es superior al agua en la solvatación de compuestos orgánicos, tales como benceno, tetracloruro de carbono y hexano; también su temperatura de ebullición es más baja que el agua (Andrews y Kokes, 1964).

Las características del amoniaco con base en la prueba CRETÍ (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico e inflamable) es: **Tóxico** (Secretaría de Salud, 1996).

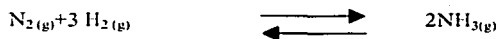
1.3 PROCESO Y SÍNTESIS DEL AMONIACO

La producción en la naturaleza de amoniaco se lleva a cabo por la acción de las bacterias de putrefacción de las proteínas de los cuerpos muertos de plantas y animales y pasa a los suelos o al aire (Babor y Aznarez, 1963).

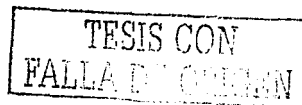
En el laboratorio el amoniaco se obtiene generalmente calentando una sal amónica con cal apagada o con hidróxido sódico la ecuación química de la reacción se muestra a continuación (Babor y Aznarez, 1963).



El Químico Fritz Haber logró establecer un método para la obtención de amoniaco a partir de los elementos nitrógeno e hidrógeno, según la ecuación descrita a continuación.



La viabilidad del método depende de las condiciones escogidas en las que el nitrógeno y el hidrógeno reaccionen para obtener un buen rendimiento de amoniaco, a temperatura ambiente y presión atmosférica, la posición de equilibrio favorece la formación del compuesto, sin embargo la velocidad de reacción es casi cero, si se aumenta la temperatura el equilibrio se alcanza rápidamente pero el rendimiento del amoniaco se reduce. La presión es otro elemento importante que tiene un efecto favorable en la velocidad



de reacción, pero produce un descenso en el número de moles de gas, el químico Haber se dedicó a encontrar un catalizador que permitiera realizar la reacción a una velocidad adecuada y sin tener que aumentar la temperatura, él encontró que el óxido de hierro conteniendo trazas de otros óxidos metálicos era el adecuado, actualmente se utiliza una mezcla de hierro, óxido potásico y óxido de aluminio y la temperatura de 400-450°C y con presiones entre 200 y 600 atm. El nitrógeno e hidrógeno no reaccionados se reciclan, para obtener un aumento en el rendimiento de amoniaco (Masterton y Slowinski, 1989).

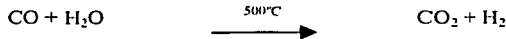
Al proceso Haber se le añadieron algunas modificaciones para la obtención de hidrógeno y nitrógeno el cuál se le conoce como método de Haber-Bosh y consiste en pasar aire sobre coque al rojo con lo que el oxígeno del aire se consume con producción de CO:



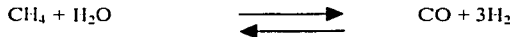
Se hace pasar vapor de agua que en el coque al rojo reacciona para dar monóxido de carbono e hidrógeno:



El monóxido de carbono (CO) reacciona a 500° C con vapor de agua en contacto con hierro que contiene algo de óxido de cromo, formándose dióxido de carbono e hidrógeno:



Este proceso duplica la cantidad de hidrógeno respecto a la del gas de agua. El gas que sale del convertidor se llama ahora gas de contacto y consta de 17% de N₂, 49% H₂, 3% CO₂ y O₂, 2% CH₄. Con el compresor se le comprima 25 atm y se le lava con agua para eliminar este gas. La mezcla gaseosa contiene ahora solamente nitrógeno e hidrógeno y se le añade nitrógeno puro a 200 atm para regular su composición a la relación volumétrica H₂ : N₂ = 3 : 1. El gas de síntesis así preparado se conduce al horno de contacto (horno de síntesis) que contiene el catalizador. Para la síntesis del amoniaco, el horno con el contacto debe calentarse a unos 400-500° C. Entonces comienza la formación de amoniaco que transcurre exotérmicamente. También puede ser diferentes la forma de obtener hidrógeno y nitrógeno. Y otra fuente de obtención de hidrógeno es la producción de hidrógeno para el gas de síntesis se ha desplazado en los últimos años al de productos de petróleo como materia prima:



Muchos compuestos de amonio y el amoniaco mismo se obtienen como subproducto de la producción de coque a partir de la hulla y el lignito, pero el 90% de la producción total de este compuesto se obtienen con el proceso Haber (Keenan, e-tal, 1992).

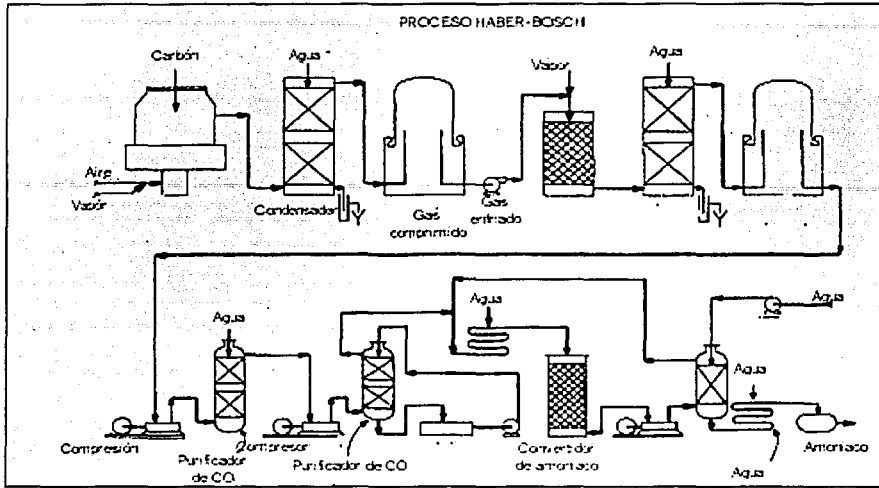


Figura 1.1 Diagrama del proceso Haber-Bosch. Fuente: Kirk-Othmell, 1991

En el proceso Lurgi el petróleo es gasificado en un reactor de lecho empacado usando oxígeno y vapor a presiones entre 20 y 30 atmósferas. El vapor y el oxígeno entran a un gasificador a través de un canal en un enrejado rotatorio mientras el petróleo es cargado en una represa y distribuida sobre la sección cruzada del gasificador. La gasificación se lleva a cabo a temperaturas entre 560 y 620°C dependiendo de las características de la alimentación. Debido a la temperatura de gasificación y las presiones de operación la concentración de metano y bióxido de carbono contenida en el gas crudo es considerablemente mayor a las presentadas por los procesos de oxidación parcial y reformeo. El gas crudo del gasificador de Lurgi es tratado en varios pasos que incluyen recuperación de calor, reconversión, remoción de fenoles, bióxido de carbono y azufre, licuefacción de nitrógeno para producir una síntesis de alta pureza, compresión y finalmente la síntesis de amoníaco.

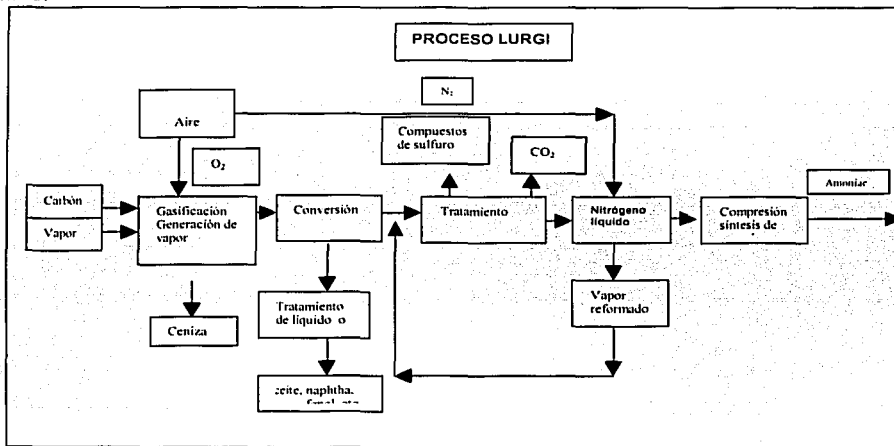


Figura 1.2 Diagrama del proceso Lurgi. Fuente: Kirk-Othmell, 1991

El proceso de Koppers-Totzek realiza la gasificación a bajas presiones y principalmente a altas temperaturas. Una mezcla homogénea de petróleo, oxígeno y vapor reaccionan en una zona de flama a 1925°C. En éste proceso los niveles de metano producido son muy bajos y el 99% del carbón es gasificado. El volumen del gas resultante consiste en hidrógeno y bióxido de carbono. El gas crudo es procesado en una serie de operaciones que consisten en generación de vapor, lavado, compresión, remoción de azufre, reconversión, remoción de bióxido de carbono, licuefacción de nitrógeno, compresión y síntesis.

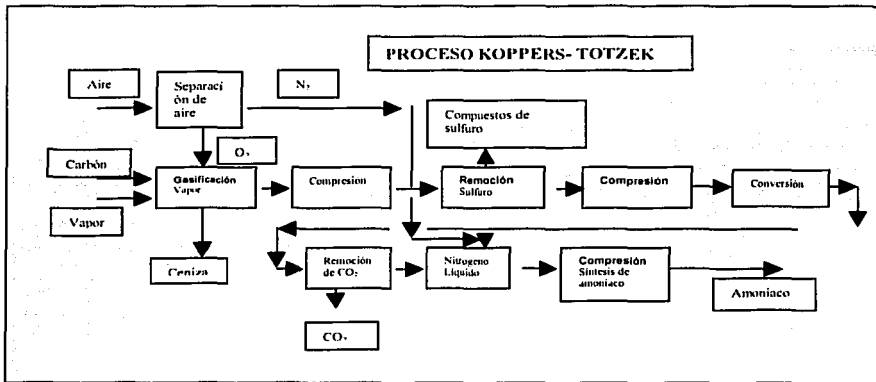


Figura 1.3 Diagrama del proceso Koppers-Totzek. Fuente: Kirk-Othmell, 1991

Existen dos procesos basados en la oxidación parcial de hidrocarburos pesados, el proceso Shell y el proceso Texaco. Las condiciones de operación en el generador de gas varían de 1200 a 1370°C y presiones de 450 a 1200psig. Generalmente aceites pesados son los hidrocarburos de alimentación aunque también puede utilizarse gas natural.

El proceso de gasificación Shell precalienta los hidrocarburos de alimentación y mezcla oxígeno con vapor para alimentarlos a la cámara de combustión del reactor. Una reacción de flama no catalítica produce la síntesis del gas crudo, el bióxido de carbono es removido con agua, el carbón es transferido a una solución de aceite para formar pellets de los cuales va a la reacción principal.

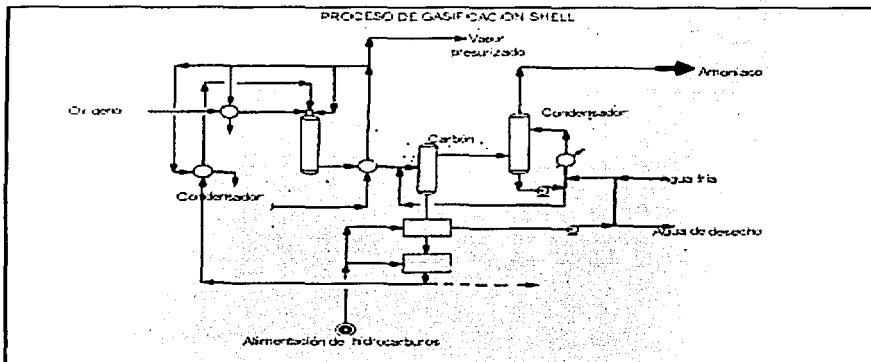


Figura 1.4 Diagrama del proceso de gasificación Shell. Fuente: Kirk-Othmell, 1991

El proceso de gasificación de Texaco sigue los mismos principios que el proceso Shell con diferencias, el carbón se extrae con nafta y posteriormente ésta segunda se recicla y el carbón va a las reacciones de síntesis.

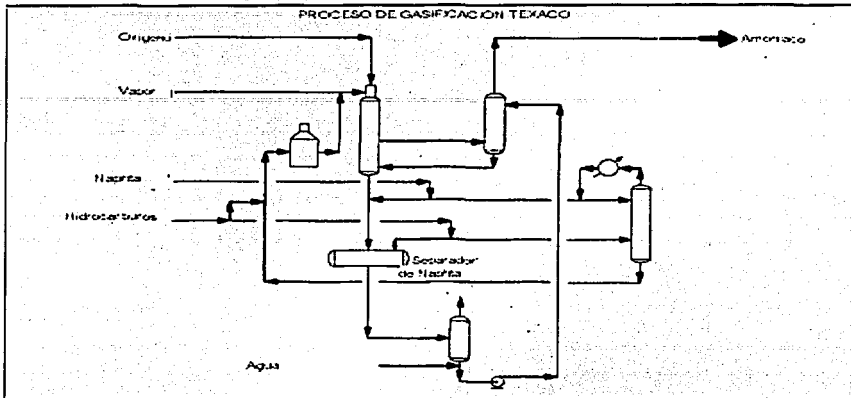


Figura 1.5 Diagrama del proceso de gasificación Texaco. Fuente: Kirk-Othmell,1991

El proceso de reforma de vapor es muy importante a nivel industrial debido a que una gran cantidad del amoniaco que se produce a nivel mundial es por medio de éste proceso, el cual se basa en la utilización de gas natural, primero el gas de alimentación se desulfura y sufre una reformación con vapor y otra con aire, posteriormente se alterna la conversión, se remueve el bióxido de carbono, se comprime el gas y se realiza la síntesis.

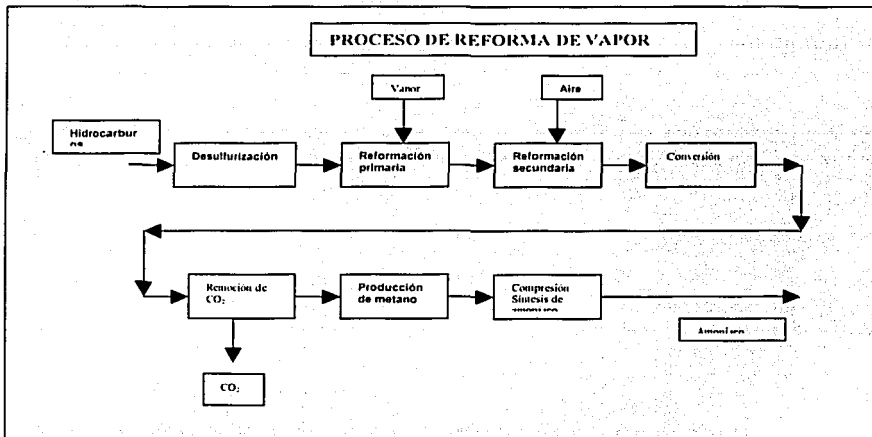


Figura 1.6 Diagrama del proceso de reforma de vapor. Fuente: Kirk-Othmell,1991

1.4 USOS MAS COMUNES DEL AMONIACO

El amoniaco es una materia prima valiosa para la fabricación de numerosos productos de la industria. En grandes volúmenes el amoniaco tiene diversos campos de aplicación, se dice que un 80% se usa en la industria agrícola como fertilizante, ya que proporciona nitrógeno que es un elemento esencial para la nutrición de suelos; un 5% se manipula en la fabricación de explosivos, debido a su fácil oxidación para producir estos compuestos; otro 10% se utiliza en la fabricación de otros productos químicos a partir de él como el ácido nítrico y sus derivados, sosa, urea, sulfato amónico, también en la producción de plásticos, fibras sintéticas como el rayón y el nylon, y en la industria de resinas se usa como catalizador y para regular el pH durante la polimerización de éstas; y el 5% restante se le usa como líquido refrigerante en máquinas frigoríficas para lograr el enfriamiento de un edificio o la refrigeración de un espacio dado (Keenan, e-tal, 1992).

Tiene otras utilidades, aunque en menor cantidad, como son por ejemplo: En la industria farmacéutica es un ingrediente importante en la fabricación de sulfonamidas, vitaminas y medicamentos antipalúdicos; la industria petrolera lo usa para la refinación de algunos aceites como neutralizante para evitar la corrosión en los equipos; la industria del caucho lo agrega al látex crudo para evitar la coagulación durante su transporte; en el proceso de vulcanización para fabricar botas, telas, zapatos; la metalúrgica lo maneja para extraer de las minas el cobre, el molibdeno y el níquel; también se usa para nitrurar aleaciones de acero a fin de darles superficie dura y resistente contra el desgaste; en la industria de fermentación el amoniaco suministra el nitrógeno necesario para el desarrollo de levaduras y otros microorganismos y para regular el pH en la fabricación de levaduras y alcohol industrial con melaza negra; en la purificación de aguas municipales e industriales se le añade al agua, amoniaco y cloro en la debida proporción para formar una mezcla de monocloramina y dicloroamina, para que tenga la función de desinfectante; se usa en la industria del papel, para procesamiento de la pulpa de "papel sulfito"; el amoniaco se diluye y emplea en usos domésticos, como elimina la dureza temporal del agua, se emplea para lavar y limpiar (http://www.hcr.co.cr/productos.htm#Amoniaco_Gas).

Tabla 1.2 Ramas industriales que involucran el manejo de grandes volúmenes de amoniaco

| CMAP () | RAMAS INDUSTRIALES |
|----------|--|
| 3113 | Elaboración de conservas |
| 3121 | Elaboración de productos alimenticios (consumo humano) |
| 3130 | Industria de las bebidas |
| 3230 | Industria del cuero, pieles y sus productos |
| 3511 | Petroquímica básica |
| 3512 | Fabricación de sustancias químicas básicas |
| 3513 | Industria de las fibras artificiales y/o sintéticas |
| 3522 | Fabricación de otras sustancias y productos químicos |
| 3710 | Industria básica del hierro y el acero |

Fuente: SEMARNAP, 1999.

1.5 PRODUCCIÓN NACIONAL DE AMONIACO

La única empresa que produce amoniaco en nuestro país es Petróleos Mexicanos (PEMEX). La siguiente tabla se dan los valores de la producción de amoniaco de los años 1989 hasta el mes de agosto del 2000 en México. El amoniaco es uno de los productos petroquímicos más importante desde el punto de vista de ingresos de divisas para México, aunque en los últimos años estos ingresos han disminuido (Anuario estadístico, 2000).

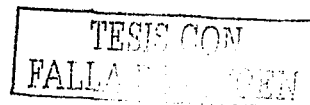


Tabla 1.3 Producción Nacional de amoniaco.

| AÑO | TONELADAS |
|------|-----------|
| 1989 | 2554 |
| 1990 | 2632 |
| 1991 | 2702 |
| 1992 | 2678 |
| 1993 | 2137 |
| 1994 | 2468 |
| 1995 | 2422 |
| 1996 | 2500 |
| 1997 | 2131 |
| 1998 | 1871 |
| 1999 | 1267 |
| 2000 | 682 |

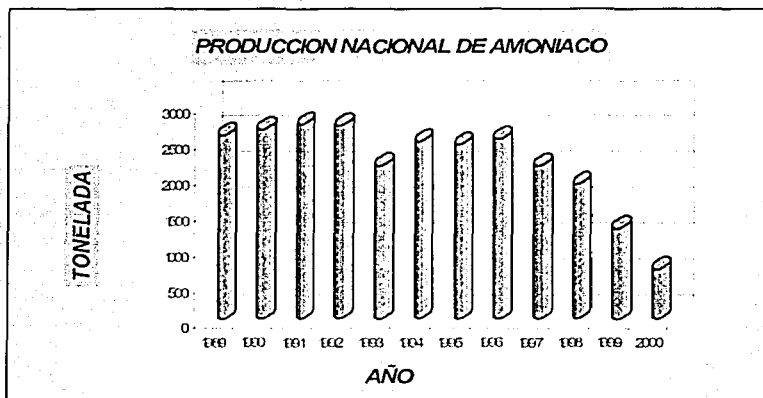
Datos tomado de INEGI 2000

Fuente: Petróleos Mexicanos. Indicadores Petroleros

En 1996 la Comisión Intersecretarial para el control del Proceso y Uso de Plaguicidas, Fertilizantes y Sustancias Tóxicas (CICOPLAFEST), autorizó la importación de sustancias peligrosas, entre ellas el amoniaco anhidro, y 261,116.24 toneladas entraron al país y actualmente ocupa el tercer lugar en la cantidad de toneladas importadas (Promoción de la prevención de accidentes químicos, SEMARNAP, 1999).

La siguiente gráfica muestra la producción de amoniaco de los años de 1989 hasta el mes de agosto del 2000 en México.

Gráfica 1.- Producción Nacional de amoniaco



Fuente: INEGI 2000

En el anexo 2 se muestra la ubicación de los estados donde se almacena amoniaco, esta información es obtenida de los reportes que presentan las empresas al Programa de Prevención de Accidentes (PPA). se debe aclarar que los estados que no se encuentran señalados no quiere decir que no lo almacenen si no que la cantidad almacenada es muy pequeña o no han ingresado al Programa.(Arcos, 2000).

1.6 EFECTOS TÓXICOS DEL AMONIACO

Como se ha mencionado el amoniaco es un compuesto tóxico, dependiendo de la forma en que se encuentre y de la concentración que tenga, provoca daños en el sistema respiratorio, piel, cuerpo y ojos; dependiendo de la concentración, puede provocar irritación, problemas ligeros e incluso hasta muerte instantánea.

Ingestión: Como el amoniaco es gaseoso en condiciones atmosféricas normales es poco probable su ingestión. La ingestión de amoniaco líquido puede resultar en una grave irritación o ulceración de la boca, garganta o aparato digestivo que se manifiesta en forma de náusea, vómito, diarrea y que en casos extremos puede llegar a producir desmayo, conmoción y muerte (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Inhalación: A concentraciones de aproximadamente 100 ppm (partes por millón), se aprecia una irritación de las membranas mucosas de la nariz, garganta y pulmones. A concentraciones superiores a los 400 ppm se produce una irritación de garganta, llegando a destruir la superficie de las mucosas en caso de contacto prolongado. A concentraciones aún superiores se puede producir edema pulmonar. Si se respira aire cuyo contenido en amoniaco sea superior a los 5000 ppm se puede producir la muerte inmediata por espasmo o inflamación de la laringe (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Piel: El contacto directo del amoniaco líquido con la piel produce quemaduras. El amoniaco gaseoso puede producir irritación de la piel, sobre todo si la piel se encuentra húmeda. El líquido puede llegar a dañar la piel como resultado de la acción combinada de congelación e irritación sobre la piel. Se pueden llegar a producir quemaduras y ampollas en la piel al cabo de unos pocos segundos de exposición con concentraciones atmosféricas superiores a los 300 ppm (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Ojos: La exposición de los ojos a elevadas concentraciones de gas provoca la ceguera transitoria además de serios trastornos oculares. El contacto directo de los ojos con el amoniaco líquido provoca graves quemaduras del ojo (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Síntomas de una exposición : Sensación de ardor en los ojos, conjuntivitis, irritación de la piel, párpados y labios hinchados, boca y lengua rojizas y secas, síntomas de congestión pulmonar y en casos extremos, muerte por fallo respiratorio debido a edema pulmonar (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Consecuencias de una exposición excesiva: Irritación y ardor de la piel y de las membranas mucosas. Dolor de cabeza, salivación, náusea y vómito. Dificultad para respirar; tos con emisión de sangre y de mucosa. Bronquitis, laringitis, hemotisis y edema pulmonar o pneumonitis. Pueden inducir la muerte. Ulceración de la conjuntiva y de la córnea y opacidades de la córnea y del globo ocular. Los daños producidos en los ojos pueden llegar a ser permanentes (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Procesos médicos que se agravan al exponerse: El amoniaco es un compuesto que irrita el aparato respiratorio. El riesgo es mayor en aquellas personas con funciones pulmonares limitadas. Enfermedades de la piel pueden ser iritados aun mas al exponerse (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

El mayor peligro del amoniaco es que frecuentemente se usa en combinación con otros productos y causa daño si se emplea inadecuadamente por ejemplo una mezcla de amoniaco en aire desde un 16% hasta un 25% puede producir explosión en caso de exposición al fuego (<http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>).

Tabla 1.4 Efectos provocados por el amoniaco al organismo humano.

| CANTIDAD EN PPM (PARTES POR MILLÓN) | EFFECTOS A LA SALUD |
|-------------------------------------|---|
| 10 - 50 85 | Se percibe el olor Limite máximo permisible en periodos de 8 hrs diarias y 40 hrs a la semana |
| 40-100 300 - 700 | Irritación leve en ojos, nariz y garganta Severa irritación en los ojos y quemaduras químicas a las vias respiratorias con secuelas graves |
| 1,700 - 2500 | Daños irreversibles a la laringe, espasmos en los bronquios, convulsiones y muerte después de media hora de exposición |
| 5,000 | Muerte inmediata por asfixia |

Fuente: KIRK-OTMELL, 1991.

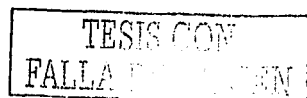
El amoniaco provoca efectos tóxicos en las plantas, peces, animales y cambios en el balance de las especies. Tales efectos aparecen sólo en las áreas muy cercanas a fuentes específicas concentradas de amoniaco.

1.7 ACCIDENTES OCURRIDOS EN PRESENCIA DE AMONIACO EN MÉXICO

Con base en la información obtenida del CENAPRED/SEGOB(2001), el amoniaco (Número de CAS 7664-41-7) ocupa el segundo lugar (con 105 accidentes), entre la lista de sustancias presentes con mayor frecuencia en accidentes durante junio de 1990 a diciembre del 2000.

Tabla 1.5 Accidentes ocurridos en México en diversas empresas desde 1994 al 2000.

| CLASE | DESCRIPCIÓN | FECHA | ESTADO | OCURRE | FUENTE |
|-------|--|----------|--------|---------|---------------|
| F | DE AMONIACO EN UNA FABRICA DE HIELO PROVOCADA POR LA FALLA EN UNA VÁLVULA | 25/07/94 | TAMPS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA PLANTA DE HIELO | 25/07/94 | TAMPS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA VALVULA QUE NO AGUANTO LA PRESION EN UNA EMPRESA | 06/11/94 | SIN | INS | P.CIVIL/ MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA PLANTA DE HIELO | 09/11/94 | TAMPS | INS | P.CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN EL MUNICIPIO DE ALTAMIRA NO SE SABE DE DONDE SE ORIGINÓ | 01/09/95 | TAMPS | NE | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO DEBIDO AL DESFOGUE DE UNA PLANTA PETROQUÍMICA | 01/00/95 | TAMPS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UN CARRO TANQUE EN UNA ESTACION DE FERROCARRILES Y EN LOS POLIDUCTOS | 23/01/96 | VER | INS/DUC | MI |
| F/E | DE AMONIACO EN UNA PLANTA DE ECOLOGÍA | 31/01/96 | VER | INS | MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA NODRIZA DE 2000 LTS | 04/03/96 | SIN | INS | P. CIVIL / MI |
| F | DE AMONIACO POR SOBREPRESION EN LAS TUBERIAS Y FALLA EN EL SISTEMA ELECTRONICO EN UNA FABRICA DE HIELO | 07/07/96 | TAMPS | INS | P. CIVIL/ MI |
| F | DE 10 KG DE AMONIACO ANHIDRO EN UNA FABRICA DE HIELO | 31/07/96 | MOR | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA CAMARA DE REFRIGERACION NO SE SABE LA RAMA DE LA EMPRESA | 30/08/96 | MICH | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UN RASTRO DE AVES | 15/09/96 | MEX | INS | P. CIVIL |
| F | DE GAS AMONIACO EN EL AREA DE ENFRIAMIENTO NO SE SABE LA RAMA DE LA EMPRESA | 01/10/96 | TAB | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA NODRIZA EN UN EJIDO | 03/10/96 | SON | INS | PROFEPA |
| F | DE AMONIACO EN UNA FABRICA DE HIELO | 19/10/96 | SON | INS | PROFEPA |
| F | DE AMONIACO EN UNA FABRICA DE HIELO | 03/11/96 | MICH | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA VALVULA DE CONDUCCIÓN DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS | 02/01/97 | TAB | DUC | P.CIVIL |
| F | DE AMONIACO AL PURGAR UNA VALVULA EN UNA EMPRESA DE PREFABRICACIÓN | 30/01/97 | AGS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA CONGELADORA | 05/03/97 | MICH | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA PLANTA HIELERA | 17/04/97 | SON | INS | PROFEPA |
| F | DE 40 L DE AMONIACO EN UNA EMPRESA DE BEBIDAS | 13/06/97 | SON | INS | PROFEPA |



GENERALIDADES

| | | | | | |
|-----|--|----------|-------|-----|----------|
| F | DE 1500LTS DE AMONIACO EN UNA FABRICA DE HIELO | 17/06/97 | SON | INS | PROFEPA |
| F | DE AMONIACO EN TANQUES D E ALMACENAMIENTO NO SE SABE LA RAMA DE LA EMPRESA | 03708/97 | OAX | INS | MI |
| F | DE AMONIACO ANHIDRO POR FALTA DE MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS | 09/09/97 | AGS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UNA CAMARA DE REFRIGERACION NO SE SABE LA RAMA DE LA EMPRESA | 06/10/97 | MICH | INS | P. CIVIL |
| F | DE GAS DE AMONIACO AL EFECTUAR EL MANTENIMIENTO EN UNA FABRICA DE HIELO | 10/10/97 | CAMP | INS | P. CIVIL |
| F | DE GAS AMONIACO EN UNA EMPRESA CONGELADORA | 01/11/97 | CAMP | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN LAS TUBERIA DE UNA EMPRESA CERVECERA | 11/11/97 | MEX | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO NO SE SABE LA RAMA DE LA EMPRESA | 10/12/97 | MICH | INS | P. CIVIL |
| F | DE GAS AMONIACO POR RUPTURA DE LA CADENA QUE SOSTENIA EN EL DEPOSITO DE LA MAQUINA EN UNA EMPRESA REFRESQUERA. | 03/02/98 | QROO | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN EL AREA DE REFRIGERACION DE LAS INSTALACIONES DE UNA EMBOTELLADORA | 10/02/98 | MEX | INS | P. CIVIL |
| F | DE GAS AMONIACO AL EFECTUAR EL MANTENIMIENTO A LAS LINEAS DE CONDUCCIÓN DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS | 18/03/98 | QROO | DUC | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN DUCTOS DE UNA EMPRESA PETROQUIMICA | 23/03/98 | VER | DUC | MI |
| D | DE AMONIACO ANHIDRO EN EL AREA DE CUARTO DE MAQUINAS DE LA EMPRESA DE HELADOS | 30/05/98 | AGS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO ANHIDRO AL AVERIARSE UNA VALVULA DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UNA EMPRESA DE ALIMENTOS | 12/06/98 | AGS | INS | P. CIVIL |
| F | DE AMONIACO EN UN CONTENEDOR EN UN RASTRO DE AVES | 31/01/99 | N. L. | INS | MI |
| I | DE AMONIACO EN UNA EMPRESA AGRÍCOLA | 22/02/99 | SIN | INS | MI |
| F | DE AMONIACO DE LA PLANTA PETROQUIMICA | 05/03/99 | SIN | INS | MI |
| F/I | DE AMONIACO POR LA FRACTURA DE UNA TUBERIA EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS | 19/08/99 | D.F. | DUC | MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA EMPRESA DE REFRIGERACION DE ALIMENTOS POR FALTA DE MANTENIMIENTO | 17/02/00 | AGS | DUC | MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE HIELO POR RUPTURA DE UNA MANGUERA EN EL TANQUE ESTACIONARIO | 23/03/00 | B.C. | DUC | MI |
| F | DE AMONIACO EN EL PROCESO DE ARRANQUE DE UNA EMPRESA PETROQUIMICA | 09/05/00 | VER | DUC | MI |
| F | DE AMONIACO AL REALIZAR EL MANTENIMIENTO EN UNA EMPRESA DE ALIMENTOS | 13/06/00 | JAL | DUC | MI |
| F | DE AMONIACO EN EL MANTENIMIENTO DE UNA EMPRESA FABRICANTE DE HIELO | 30/08/00 | MICH | DUC | MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS | 13/09/00 | D.F. | INS | MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA FABRICA DE FERTILIZANTES | ?/09/00 | GTO | INS | MI |
| F | DE AMONIACO EN EL MANTENIMIENTO DE UNA FABRICA DE HIELO | 27/09/00 | MEX | DUC | MI |
| D | DE AMONIACO EN EL ALCANTARILLADO POR LOS DESECHOS DE UN ALMACEN DE SUSTANCIAS QUIMICAS | 09/11/00 | D.F. | DRE | MI |
| F | DE AMONIACO EN UNA EMPRESA DISTRIBUIDORA DE ALIMENTOS | 07/12/00 | QTRO | INS | MI |

Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB.2000

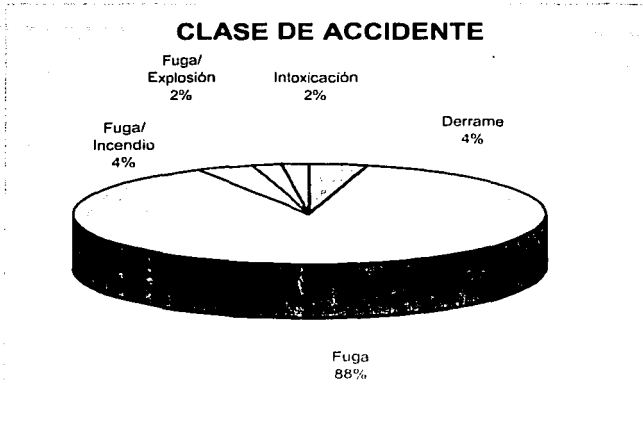
| | | |
|-------------------|--------------------|--|
| F--- Fuga | DUC--- Ducto | MI---Medios de información |
| I--- derrame | INS----Instalación | DRE---Drenaje |
| I--- Incendio | T-----Transporte | P.CIVIL---Protección Civil |
| X--- intoxicación | B-----Basurero | PROFEPA---Procuraduría Federal de Protección al ambiente |

Las siguientes gráficas dan a conocer información interesante acerca del comportamiento del amoniaco desde diferentes perspectivas, esta información se obtiene a partir de los accidentes ocurridos en el almacenamiento, distribución transporte, el analizar dichos datos nos proporciona herramientas valiosas para usarlas en el objetivo general de éste proyecto.

TESIS CON
FALLA DE CALIDAD

La gráfica 2 muestra que el mayor porcentaje en accidentes ocurridos en la industria, por manejo de amoniaco se debe fugas, siendo la clase de accidente que predomina por un margen superior al 85%. A pesar de que existe presencia de otras clases de accidentes como son el derrame, la explosión, intoxicación e incendio, no existe comparación alguna con la primera.

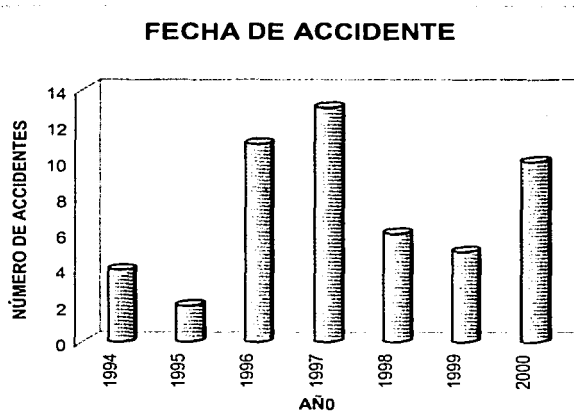
Gráfica 2 Clase de accidente y porcentaje de ocurrencia en la industria por manejo de amoniaco



Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB,2000

En la siguiente gráfica se observa que la frecuencia de accidentes, no sigue un comportamiento establecido, en oposición a esto presenta una gran variabilidad con el tiempo.

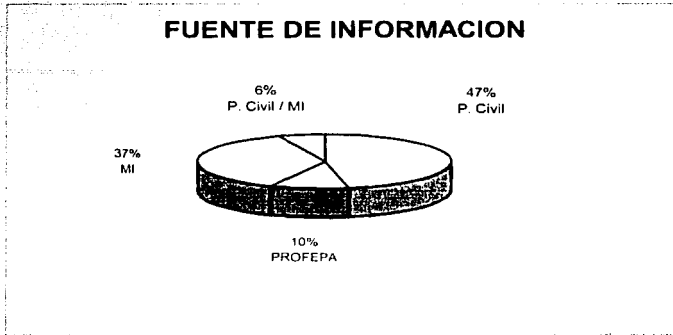
Gráfica 3 Frecuencia de accidentes en los últimos años



Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB,2000

La información de los accidentes proviene de diferentes fuentes como son los medios de información (MI), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y Protección Civil, siendo este último el que más información aporta, lo que nos indica que la información es confiable.

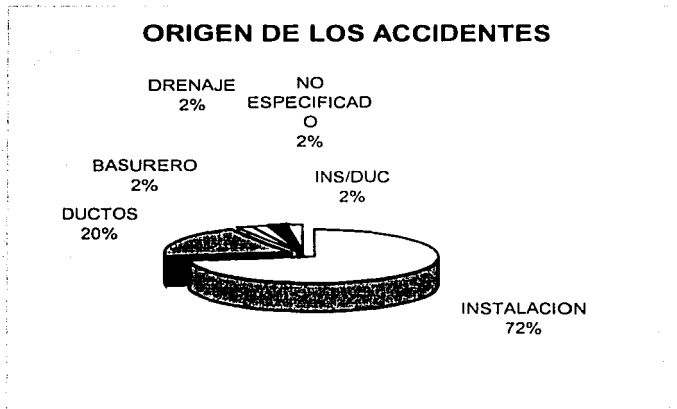
Gráfica 4 Fuentes de información de los accidentes ocurridos



Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB,2000

Como se observa en la gráfica 5 el número de accidentes que más frecuentemente ocurre es en las instalaciones con un 72%, siguiéndole en los ductos con 20%.

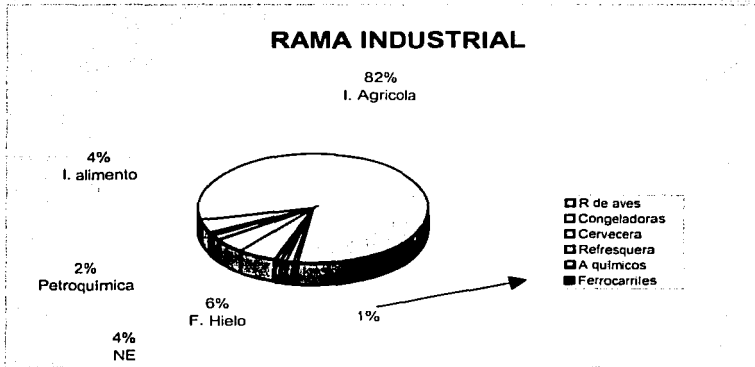
Gráfica 5 Origen del accidente ocurrido



Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB,2000

La gráfica 6 permite concluir que la rama industrial que presenta mayores problemas con el amoniaco es la de fertilizantes y esto se explica debido a que es donde tiene el mayor porcentaje de consumo.

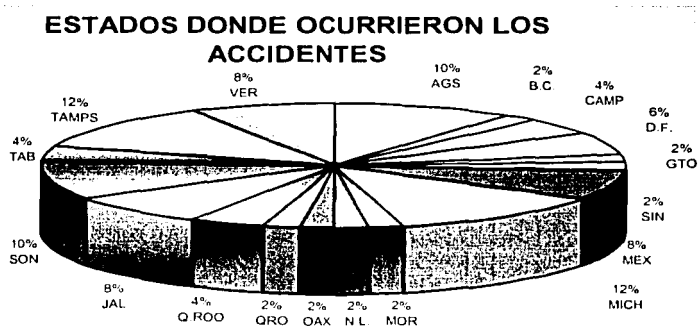
Gráfica 6 Ramas Industriales con mayor incidencia de accidentes



Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB,2000

La distribución de accidentes en el territorio nacional presenta un comportamiento similar en todos los estados, no existe una diferencia significativa en algun estado.

Gráfica 7 Lugares donde ocurrieron los accidentes



Fuente: ACQUIM/CENAPRED/SEGOB,2000

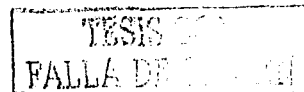
Tabla 1.6 Accidentes ocurridos en México en el transporte de amoniaco desde 1995 hasta el 2000.

| CLASE | SUSTANCIA | FECHA | ESTADO |
|---------|------------------|----------|--------|
| F | AMONIACO | 02/01/95 | TLA |
| CHO | AMONIACO | 04/02/95 | HGO |
| V/F | AMONIACO ANHIDRO | 21/03/95 | QRO |
| F | AMONIACO ANHIDRO | 22/03/95 | HGO |
| MEC/F | AMONIACO | 14/06/95 | VER |
| F | AMONIACO | 15/06/95 | TLA |
| F | AMONIACO | 05/08/95 | COA |
| F | AMONIACO | 06/09/95 | VER |
| F | AMONIACO | 19/11/95 | VER |
| F | AMONIACO | 10/01/96 | SIN |
| CHO | AMONIACO ANHIDRO | 16/01/96 | COA |
| CHO | AMONIACO | 23/06/96 | VER |
| SC/V | AMONIACO | 31/03/96 | SON |
| F | AMONIACO | 13/04/96 | VER |
| CHO/SC | AMONIACO | 27/06/96 | HGO |
| F | AMONIACO ANHIDRO | 05/09/96 | SON |
| MEC | AMONIACO | 15/09/96 | PUE |
| CHO/F | AMONIACO | 29/10/96 | SIN |
| E | AMONIACO | 06/12/96 | SIN |
| CHO/SC | AMONIACO | 02/03/97 | TAMP |
| F | AMONIACO | 15/03/97 | HGO |
| CHO | AMONIACO | 24/03/97 | MEX |
| SC | AMONIACO | 06/04/97 | MEX |
| CHO | AMONIACO | 04/06/97 | CHIH |
| MEC/D | AMONIACO | 16/08/97 | MEX |
| SC/CHO | AMONIACO | 16/08/97 | QRO |
| CHO | AMONIACO | 18/08/97 | GTO |
| F | AMONIACO | 18/08/97 | MEX |
| F | AMONIACO | 22/08/97 | VER |
| V/SC | AMONIACO | 19/09/97 | TLA |
| SC/V | AMONIACO | 27/11/97 | SIN |
| SC/V | AMONIACO | 16/12/97 | VER |
| CHO | AMONIACO | 28/01/98 | VER |
| V/F | AMONIACO | 16/02/98 | N.L. |
| F | AMONIACO | 14/04/98 | VER |
| CHO/F | AMONIACO ANHIDRO | 23/05/98 | TLA |
| SC | AMONIACO | 25/06/98 | VER |
| MEC/SC | AMONIACO | 19/07/98 | SON |
| SC/V | AMONIACO ANHIDRO | 04/12/98 | VER |
| MEC/ SC | AMONIACO ANHIDRO | 20/12/98 | VER |
| V | AMONIACO | 20/01/99 | JAL |
| V | AMONIACO ANHIDRO | 20/03/99 | VER |
| V | AMONIACO | 24/03/99 | PUE |
| F | AMONIACO | 24/04/99 | HGO |
| F | AMONIACO | 25/05/99 | VER |
| F | AMONIACO | 25/05/99 | MEX |
| F | AMONIACO | 29/04/99 | MEX |
| V | AMONIACO | 08/08/99 | JAL |
| CHO | AMONIACO ANHIDRO | 15/10/99 | TLA |
| V | AMONIACO | 21/10/99 | SLP |
| V/D | AMONIACO | 16/02/00 | COA |
| SC | AMONIACO | 18/02/00 | MEX |
| V | AMONIACO | 28/03/00 | VER |
| V | AMONIACO | 30/03/00 | SIN |
| V/F/E | AMONIACO | 04/10/00 | MEX |
| D | AMONIACO | 14/12/00 | CHIH |

Fuente: ACARMEX/CENAPRED/SEGOB, 2000.

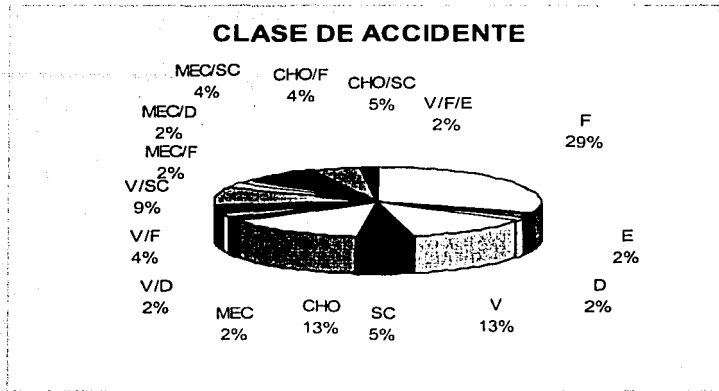
F-----Fuga
D-----Derrame
V-----Volcadura
E-----Explosión

MEC---Mecánico
SC-----Salida del camión
CHO---Choque



Al igual que en la industria, en el transporte la clase de accidente con un alto índice de accidentes es la fuga, lo podemos notar en la gráfica 8.

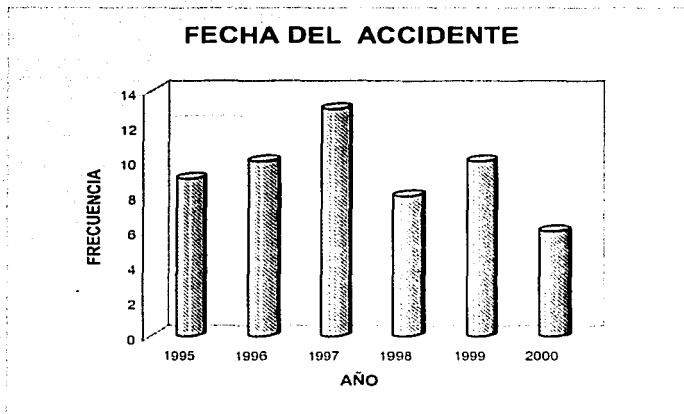
Gráfica 8 Clase de accidente y porcentaje de ocurrencia en el transporte de amoniaco



Fuente: ACARMEX/CENAPRED/SEGOB, 2000.

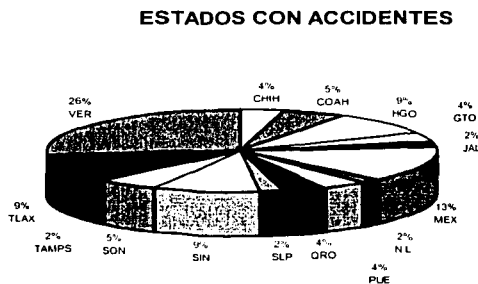
En la gráfica se observa que en el año de 1997 se produjo mayor incidencia de accidentes y para el año 2000 los accidentes ocurridos en el transporte hubo una reducción en éstos.

Gráfica 9 Frecuencia de accidentes en el transporte de amoniaco en los últimos años



Fuente: ACARMEX/CENAPRED/SEGOB, 2000.

Gráfica 10 Lugares donde ocurrieron los accidentes en el transporte de amoniaco



Fuente: ACARMEX/CENAPRED/SEGOB, 2000.

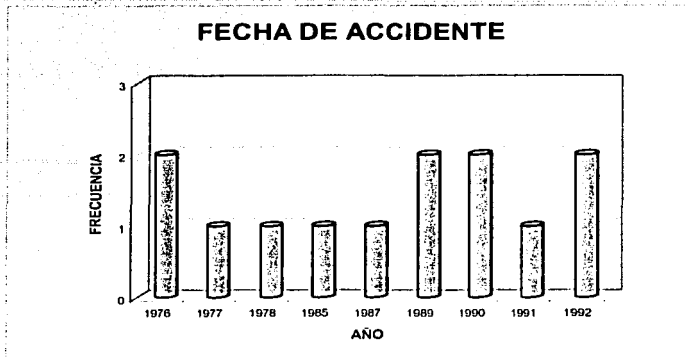
Tabla 1.7 Accidentes internacionales ocurridos por la presencia de amoniaco de 1975 a 1997.

| FECHA | | PAIS | CLASE DE ACCIDENTE | Mueertos | Número de: | |
|-------|-----------|----------------------|--|----------|------------|-----------|
| Año | Día Mes | | | | Lesionados | Evacuados |
| 1976 | - 12 - ? | Colombia, Cartagena | Explosión | 30 | 30 | ----- |
| 1976 | - 07 - 03 | México, Cuernavaca | Fuga | 2 | 500 | 2'000 |
| 1977 | - ? - ? | Colombia, Pasacabato | ----- | 30 | 22 | ----- |
| 1978 | - 03 - 08 | Italia, Manfredonia | Planta | --- | --- | 10'000 |
| 1985 | - 03 - ? | Indonesia, Djakarta | Fuga (fábrica) | --- | 130 | ----- |
| | - 24 - 06 | India, Bhopal | Fuga | --- | --- | 200'000 |
| 1989 | - 17 - 01 | India, Bhatinda | Fuga | --- | 500 | ----- |
| 1989 | - 20 - 03 | URSS, Ionava | Explosión, Incendio (fertilizante con NPK) | 6 | 53 | 30'000 |
| 1990 | - 04 - 05 | Cuba, Matanzas | Fuga | 3 | 374 | > 1'000 |
| 1990 | - ? - 07 | India, Lucknow | Fuga en fábrica de hielo | --- | 200 | ----- |
| 1991 | - 20 - 06 | Bangladesh, Dhaka | Explosión | 8 | 22 | ----- |
| 1992 | - 24 - 03 | Senegal, Dakar | Fábrica de cacahuates | >40 | >300 | ----- |
| 1992 | - 28 - 07 | * EUA, Westlake | Explosión (industria química) | --- | 63 | ----- |
| 1975 | - 11 - 05 | EUA, Houston | Fuga | 6 | 178 | ----- |
| 1976 | - 03 - ? | EUA, Deer Park | Fuga | 5 | 200 | ----- |
| 1984 | - 17 - 12 | México, Matamoros | Fuga | --- | 182 | 3'000 |
| 1991 | - ? - 10 | India, New Bombay | Fuga | 1 | 150 | ----- |
| 1995 | - ? - 12 | India, Maharashtra | Fuga | --- | 2'000 | ----- |
| 1997 | - 21 - 01 | India, Bhopal | Fuga | --- | 400 | ----- |

Fuente: OECD, UNEP, MIDAS, 2000

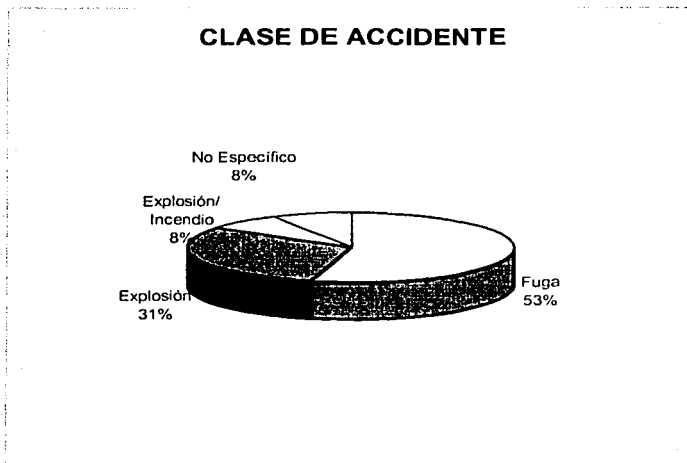
Criterios de inclusión: 25 muertos o más; 125 lesionados o más.
10'000 evacuados o más ó 10'000 personas o más privadas de agua
10 millones de USS o más en daños a terceros.

Gráfica 11 Frecuencia de accidentes en el mundo en los últimos años



Fuente: OECD, UNEP, MHIDAS, 2000

Gráfica 12 Clase de accidente y porcentaje de ocurrencia por manejo de amoniaco en el mundo



Fuente: OECD, UNEP, MHIDAS, 2000

En resumen podemos concluir que la incidencia de accidentes con amoniaco no tienen un comportamiento específico, por lo que en cualquier momento y lugar donde se use la sustancia se puede presentar alguno, lo que motiva a tener una serie de medidas de prevención para este compuesto.

CAPITULO II

LEGISLACIÓN REFERENTE AL USO Y MANEJO DEL AMONIACO

2.1 LEGISLACIÓN NACIONAL

En México la normatividad del equilibrio ecológico se basa en la Constitución Política la cual establece la obligación de preservar el ambiente, de ella se derivaron directamente, la Ley Orgánica de la administración Pública Federal, la Ley de Metrología y Normalización y la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) y su Reglamento en Materia de Residuos Peligrosos con éste reglamento se formalizó la regulación de los residuos peligrosos, en 1988. En el siguiente cuadro se proporcionan otras leyes o reglamentos aplicados a los residuos peligrosos.

Tabla 2.1 Normatividad aplicable a los materiales y residuos peligrosos

| LEY /REGLAMENTO | FECHA DE PUBLICACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|---|---|--|
| Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos Art. 4, 25,27,73. | 05- febrero-1917 | Establece como obligación la preservación y restauración del equilibrio ecológico y el ambiente. |
| Ley General del equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente art. 143,144,145,146,147,150,151,152,153. | 28-enero-1988 modificada el 13-dic-1996. | Establece las disposiciones para el manejo de los residuos peligrosos, incluyendo importación y exportación. |
| Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, cap. IV | 28-dic-1994 | Establece la creación de Normas Oficiales Mexicanas sobre la preservación y restauración de la calidad del medio ambiente; sobre los ecosistemas naturales; sobre el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y de la flora y fauna silvestre, terrestre y acuática; sobre descargas de aguas residuales y en materia minera; sobre materiales peligrosos y residuos sólidos peligrosos |
| Ley de metrología y Normalización art. 40 | 01-Julio-1992 | Establece que la finalidad de las normas oficiales mexicanas es cumplir con las condiciones de salud, seguridad e higiene que deberán observarse en los centros de trabajo y otros centros públicos de reunión; |
| Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos Peligrosos. | 7- abril -1993 | Regula el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos. |
| Reglamento de la LGEEPA en Materia de Residuos Peligrosos, Art. 4° | 7- abril -1993 | Controlar el manejo de los residuos peligrosos que se generan en las operaciones y procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, y de servicios; |
| Reglamento Interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (antes SEMARNAP), art. 32 apartado X | 5-junio-2000 | Otorgar permisos, licencias, autorizaciones, y las respectivas modificaciones, suspensiones, cancelaciones, revocaciones o extinciones, de conformidad con lo previsto en las disposiciones jurídicas. |
| Ley General de Salud Art. 37, 38 y 39 27,194,198,279, 298,375. | 07-febrero-1984 | Control sanitario en producción, uso, importación, e instalaciones y producción de sustancias tóxicas. |
| Reglamento Federal de Seguridad e Higiene y medio Ambiente del Trabajo(STPS), art. 54,56,62,63,64,65,66,69,70,82. | 21-enero-1997 | Promueve las acciones necesarias para prevenir que deben observarse en el centro de trabajo, para garantizar la integridad de los trabajadores. |
| Reglamento para el Transporte Terrestre de Materiales y Residuos | | Establece que las unidades de transporte deben identificar el material peligroso en lugares visibles. |



| | | |
|--|-----------------------------|--|
| Peligrosos art. 36,37, 38 | ----- | las condiciones que deben tener los contenedores de las unidades. |
| Reglamento en materia de Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica. | Modificada 13 -dic- 1996 | Rige en todo el territorio nacional y las zonas donde la nación ejerce su jurisdicción y tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en lo que se refiere a la prevención y control de la contaminación atmosférica. |
| Ley Comercio Exterior | 27-julio-1993 | Establece las medidas de regulación y restricción no arancelaria a la exportación, importación, circulación o tránsito de mercancías, tomando en consideración las situaciones que afecten la seguridad nacional, salud pública, sanidad fitopecuaria y la ecología. |

Fuente: INE, SSA, SEMARNAT, PROFEPA, SCT, STPS, SECOFI- 2001.

Cabe mencionar que parte de la normatividad anterior quedó derogada en las Normas Oficiales Mexicana (NOM's) en 1993 para cubrir la gestión de los residuos peligrosos, pero es la LGEEPA la que delimita el manejo y disposición de los residuos peligrosos y aunque fue modificada en 1996, existen vacíos, imprecisiones que habría que considerar como es la definición inadecuada de residuos y residuos peligrosos, la falta de definición de generadores que distinga a los grandes de los micro generadores, entre otras. Las normas vigentes son nueve, sin embargo para el amoniaco solo son aplicables dos y son las mencionadas a continuación.

Tabla 2.2 Normas Oficiales Mexicanas

| CLAVE | FECHA DE PUBLICACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|-------------------|----------------------|---|
| NOM-052-ECOL-1993 | 22-oct-1993 | Establece las características de los residuos peligrosos por su toxicidad al ambiente. |
| NOM-117-ECOL-1998 | 24-nov-1998 | Establece las especificaciones de protección ambiental para la instalación y mantenimiento en los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso, que se realicen en derechos de vía terrestres existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales |

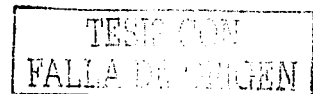
Fuente: INE/SEMARNAT/SEGOB, 2001.

La normatividad que establece especificaciones de calidad, reglas, recomendaciones, métodos de determinación del amoniaco son las siguientes, cabe mencionar que ninguna de éstas se encuentra referenciada en las NOM's, lo que las hace de carácter voluntario.

Tabla 2.3 Normas Mexicanas

| CLAVE | FECHA DE PUBLICACIÓN | DESCRIPCIÓN |
|-----------------|----------------------|--|
| NMX-Y-003-1981 | 29-abril-1981 | Establece las especificaciones de calidad que debe cumplir el amoniaco anhidro empleado en la fabricación de fertilizantes para uso agrícola y el límite máximo permisible. |
| NMX-Y-026-1982 | ----- | Establece las reglas y recomendaciones generales que deben aplicarse en el muestreo de amoniaco, empleado como materia prima en la fabricación de fertilizantes y para uso agrícola. |
| NMX-AA-097-1986 | 14-nov-1986 | Establece el procedimiento a seguir para la determinación de amoniaco en gases que fluyen por un conducto. |
| NMX-Y-042-1981 | 13-mayo-1981 | Establece un método gravimétrico para la determinación de aceite y es aplicable a amoniaco anhidro. |
| NMX-Y-040-1981 | 13-mayo-1981 | Establece un método para la determinación del residuo por evaporación y es aplicable a amoniaco anhidro. |

Fuente: SECOFI-SEGOB, 2001



CAPITULO 2

2.2 LEY GENERAL DE PROTECCIÓN CIVIL

La ley general de protección Civil fue publicada en el Diario Oficial el 08 de mayo de 2000, ésta en su capítulo VI y VII principalmente, deroga las acciones de prevención y salvaguardo para la población a las Entidades Federativas junto con la colaboración del Gobierno Federal.

2.3 LEGISLACIÓN INTERANCIONAL

Tabla 2.4 Reglamentos internacionales

| REGLAMENTO | DESCRIPCIÓN |
|---|--|
| 40 CFR 117.21 | Descargas de sustancias peligrosas que amenacen las vías de agua |
| 40 CFR 302.6(a) | Liberación de sustancias peligrosas al ambiente |
| 40 CFR 355.40 K.A.R. 28-65-3 K.A.R. 4-4-954 | Comunicación cuando hay liberación de sustancias extremadamente peligrosas |
| K.A.R. 4-10-2k | Accidentes donde se involucre amoniaco |
| K.A.R. 28-48 | Sustancias o materiales que amenacen contaminar el suelo o el agua. |

Fuente: <http://www.epa.gov/swercepp/pubs/backup.pdf>

CAPITULO III

SELECCIÓN DEL MÉTODO PARA MODELAR MATEMÁTICAMENTE NUBES TÓXICAS

3.1 JUSTIFICACIÓN DE LA MODELACIÓN

La ciencia y la tecnología describen los fenómenos reales mediante modelos matemáticos. El estudio de estos modelos permite un conocimiento más profundo del fenómeno, así como de su evolución futura. La matemática aplicada es la rama de las matemáticas que se dedica a buscar y aplicar las herramientas más adecuadas a los problemas basados en estos modelos.

En la modelación del comportamiento de los contaminantes en la atmósfera, se engloban procesos mecánicos como el transporte (proceso mediante el cual los contaminantes se desplazan por el efecto del viento) y la difusión (que es el proceso por el cual los contaminantes se distribuyen por diferencias en concentración), procesos físicos entre los cuales se encuentran, el flujo atmosférico, la dispersión de los contaminantes y su deposición física, y procesos químicos como su transformación y deposición química (<http://www.etsimo.uniovi.es/gma/intro2.htm>; <http://www.esga.es/ca/defaultC.html?Proyectos/MedioAmb.html&2>).

La necesidad de abordar la problemática de la contaminación del aire, mediante el análisis de los resultados obtenidos por la modelación es una herramienta esencial e insustituible frente a otros sistemas, ya que los resultados son válidos para tomar medidas correctivas y de planificación eficientes y económicas como las siguientes: (<http://www.etsimo.uniovi.es/gma/intro2.htm>; Zannetti, 1990):

1. Establecer la legislación en el control de emisiones a la atmósfera.
2. Evaluar técnicas y estrategias propuestas para el control de emisiones.
3. Optimizar la altura de chimeneas para las instalaciones industriales.
4. Planificación urbana e industrial.
5. Diseño de redes de calidad de aire

La modelación de accidentes ocurridos con materiales peligrosos o tóxicos ha tenido un desarrollo rápido en la Ingeniería, dirigido por los esfuerzos de la industria para prevenir y mitigar incidentes en donde existan riesgos a la salud y al mismo tiempo cumplir con los requerimientos de normas. Es importante mencionar que la modelación no es la solución a los problemas de contaminación, sólo es una herramienta para establecer estrategias que ayuden al control de ésta. La fiabilidad de un modelo está directamente relacionada con los datos que se le proporcionen, deben de estar sustentados y detallados.

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS

Reproducir un fenómeno cualquiera que haya causado un disturbio en la calidad del aire, no es factible ya que resulta costoso, debido a que la repetición de un fenómeno requiere de las condiciones adecuadas a las de la realidad y dichas condiciones son improbables que se repitan, por ello se usan los modelos matemáticos para abordar el problema del transporte de contaminantes atmosféricos. De acuerdo al fundamento de éstos se clasifican en:

- Modelos determinísticos: modelos de difusión atmosférica basados fundamentalmente en la descripción matemática de los procesos atmosféricos relacionando sus causas (emisiones) y efectos (niveles de contaminación atmosférica)
- Modelos estadísticos: basados en una relación estadística semiempírica entre datos disponibles y mediciones.

Basándose en otros criterios los modelos también se clasifican según su alcance espacial:

- Regionales o nacionales: Estudian el transporte y difusión de contaminantes a grandes distancias (de 100 a 1500 Km.). Generalmente se utilizan datos meteorológicos históricos.
- Locales. Evalúan la convección y difusión de los contaminantes emitidos en distancias relativamente pequeñas (de 1 a 100 Km.). Por su alcance, estos fenómenos se circunscriben casi exclusivamente a la capa límite atmosférica. Dentro de estos se distinguen:

* De medio alcance. Tratan de realizar una predicción a distancias entre 15 y 100 km. del foco emisor. Por su alcance medio requieren una descripción meteorológica lo más aproximada posible de la zona de aplicación e incluso, para una respuesta con la suficiente anticipación, una predicción meteorológica local a corto plazo.

* De corto alcance. De 1 a 15 Km, suelen resultar más sencillos puesto que la difusión no es muy pronunciada, fundamentalmente porque para que exista inmisión apreciable el foco emisor ha de estar situado casi a nivel del suelo.

Según su resolución temporal pueden dividirse en:

- Climatológicos: Utilizan datos meteorológicos históricos para obtener medias de inmisión estacionales o anuales.
- A medio plazo: Para períodos de tiempo de unos días a unas semanas.
- Pueden combinar datos históricos con predicciones meteorológicas a fin de obtener una descripción aproximada de la atmósfera en ese período. Se obtienen medias diarias. Episódicos: Se utilizan para el estudio de la dispersión en condiciones anómalas de unas horas a unos días. Requieren una descripción exhaustiva del episodio meteorológico para obtener valores de inmisión, generalmente horarios, con errores menores del 25 %.
- Simulación en tiempo real: Se trata de aplicar un modelo de tipo episódico alimentado con predicciones meteorológicas a corto plazo y corregidas con datos recibidos en tiempo real. Requiere un compromiso entre la complejidad del modelo y su velocidad de predicción de inmisiones, por lo que su estudio es ligeramente diferente de los anteriores. Generalmente, son modelos locales.

Los modelos de simulación pueden ser aplicados a todos los aspectos de contaminación del aire como la evaluación de radios de emisión, descripción de los fenómenos que toman lugar en la atmósfera, cuantificación de los efectos de la contaminación en ciertas regiones y éstos se dividen en las siguientes categorías:

- Modelos probabilísticos, de correlación o estadísticos: Se basan en la utilización de datos históricos de meteorología, emisión e inmisión para establecer, mediante técnicas estadísticas diversas, la inmisión probablemente alcanzable con unas condiciones meteorológicas y de emisión.
- Modelos de difusión: Se trata, de una manera aproximada, de resolver las ecuaciones de difusión que gobiernan el movimiento de los contaminantes en el flujo turbulento atmosférico y se clasifican en:
 - Modelos de caja: Los más sencillos, tratan la zona en estudio como un sistema cerrado en el que se mueven los contaminantes por impulso del viento medio. Son modelos puramente mecánicos.
 - Gases pesados: Cuando un gas más pesado que el aire es liberado, inicialmente tiene un comportamiento diferente a un gas más ligero. El gas pesado podría primero contraerse

debido a que es más pesado que el aire que lo rodea. Como el gas se mueve viento abajo, la gravedad hace que se esparza; esto puede causar, que algo de vapor viaje viento arriba del punto de liberación

- Modelos Gaussianos: Son los más utilizados. Consideran que la pluma emitida sigue una distribución gaussiana perpendicular al movimiento convectivo principal. De este modo se pretende simular la difusión de contaminantes en la dirección no dominante. Sin embargo, no han conseguido una descripción real del fenómeno de difusión, aunque permiten obtener resultados aproximados muy rápidamente.
- Modelos de diferencias finitas: Tratan de resolver las ecuaciones de difusión utilizando diferentes grados de aproximación:
 - **Eulerianos:** Utilizan un sistema de referencia absoluto y tratan de calcular la difusión referida a este sistema a partir de diferentes aproximaciones.
 - **Lagrangianos:** Distinguen dos sistemas de coordenadas para el cálculo del desplazamiento de los contaminantes, uno referido a las coordenadas del emisor, otro referido a un punto representativo de la traslación de la pluma, mediante la dispersión de ésta debido a la turbulencia.
 - (http://www.cesga.es:8800/cursos/MedAmb/medamb/mca3/frame_MCA03_4.html ; Zannetti, 1990: Aloha User's Manual, 1999).

Es destacable el gran número y variedad de alternativas aplicadas en la representación del flujo de contaminantes en la atmósfera, la elección de una u otra solución depende fundamentalmente de las escalas de espacio y tiempo exigidas. Estas aproximaciones no representan exactamente el comportamiento de la atmósfera real, y su desviación depende de las condiciones meteorológicas, del tamaño de la región considerada, de las escalas de tiempo de predicción entre otros. Estos factores son los que condicionan la elección de uno u otro modelo de difusión para cada caso particular.

3.3 PARÁMETROS DE LA MODELACIÓN

La aplicación de la modelación tiene como objeto integrar diferentes parámetros que inciden en la calidad del aire, como las fuentes de emisión, condiciones meteorológicas, características del sitio (topografía), ubicación de los receptores, entre otros, éstos deben conocerse y corroborarse, para asegurar el buen desempeño de cualquier modelo (Center for chemical process safety, 1996).

Fuente de emisión

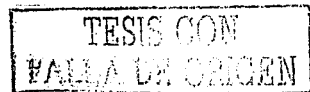
El modelo de la fuente de emisión requiere diversos datos en orden de operación, el más importante es el valor de la masa total liberada (instantánea) o la velocidad de liberación de masa (continua) sobre un periodo de tiempo, algunos otros datos que se requieren son: a) las propiedades físicas y químicas del material, b) geometría del tanque contenedor o tubería de conducción, c) las características de la fuente del líquido en derrame o de la nube de vapor denso, d) conocimiento de operación de la planta, e) el tiempo de evaporación, f) presencia de gases y aerosoles en la salida.

Características del sitio

Para la aplicación del modelo es importante tener un mapa claro del sitio que muestre los posibles lugares de emisión y las posiciones de edificios cercanos, carreteras, entre otros tipos de uso de suelo. La topografía es importante debido a que muchas nubes de vapor se distribuyen al nivel del piso. Las dimensiones de los edificios en relación con la posición de la fuente pueden ser otro factor de entrada si el modelo calcula la distribución entre los edificios.

Condiciones meteorológicas

La modelación se puede llevar a cabo utilizando datos de entrada en tiempo real o utilizando condiciones históricas o hipotéticas, se necesita una estimación de la estabilidad atmosférica debido a que la velocidad de la dispersión turbulenta de una pluma de gas es fuertemente dependiente de ésta. Todos los



modelos de nube de vapor requieren como un dato de entrada la temperatura del aire en el punto de la emisión.

Características de receptor

La ubicación de los diferentes receptores tales como unidades de monitoreos, centros de población, fuentes de ignición, sitios de producción agrícola y límites de propiedad, deben ser consideradas como parte de los datos de entrada. Las propiedades tóxicas y de inflamabilidad tienen una relación directa con el receptor, también es necesario especificar el tiempo promedio de exposición del material.

Escenarios de liberación

En las liberaciones catastróficas de sustancias peligrosas que se reportaron (Center for chemical process safety, 1996) algunas fueron con cantidades significativas y en otras la cantidad del material era mínima. Frecuentemente se usan los mismos modelos de nubes de vapor para tratar, grandes, medianos y pequeños escenarios de emisión, debido a que los principios físicos básicos son independientes del tamaño de las emisiones. Los escenarios típicos de liberación pueden ser agrupados en tres grandes áreas (Center for Chemical Process Safety, 1996):

- 1.- Derrame de líquidos y su evaporación subsiguiente
- 2.- Liberación en dos fases (Sistema presurizado)
- 3.- Liberación de gases.

La modelación de la fuente para una ruptura accidental o fuga de un material peligroso es tal vez el paso más crítico en la estimación correcta de las concentraciones en el aire. Los cálculos de emisión para una liberación accidental pueden involucrar emisiones de multicomponentes, emisiones en dos fases (gas y líquido), velocidades de emisión con variaciones en el tiempo, o la emisión de gases fríos muy densos.

Las liberaciones de materiales peligrosos pueden ser de diferentes tipos: gas o líquido, instantáneas o continuas, en tanques de almacenamiento o líneas de conducción, presurizados o refrigerados, etc. en ocasiones existe combinaciones de estos escenarios.

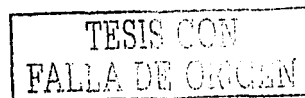
Generalmente las liberaciones de emergencia envuelven fluidos en dos fases, en algunos casos el líquido sale como lluvia y el gas como un aerosol. Esto provoca una diferencia en el tiempo de variabilidad de emisión y en el método para calcularla falla o fractura del tanque, también estas técnicas son aplicadas dependiendo si la falla del tanque ocurrió en la región del líquido o en el espacio del vapor.

Las liberaciones accidentales pueden ocurrir en tres clases dependiendo del tiempo:

1. - Instantánea
2. - Continua con variación de tiempo
3. - Continua con tiempo estacionario

3.4 SELECCIÓN DEL MODELO APLICADO

De acuerdo a la clasificación realizada anteriormente y a las necesidades del caso particular, se decidió que el método para la simulación de emisiones de amoníaco a la atmósfera dos tipos de modelos uno de tipo *Gaussiano*, éste modelo permite realizar una evaluación rápida con un mínimo de información, lo que en este caso lo hace muy conveniente, ya que es difícil en México encontrar información detallada con relación al tema de estudio; y el otro tipo de modelo es uno de gases pesados, ya que de acuerdo a las características fisicoquímicas del amoníaco se comporta como un gas pesado quedando la nube al nivel del suelo.



El modelo gaussiano de pluma es la base para otros modelos de difusión de contaminantes, éste describe la concentración en tres dimensiones, aunque es fácilmente manipulable para obtener las condiciones que se necesitan, su fórmula general se deriva de resolver la ecuación de balance del contaminante, la ecuación de difusión y la ecuación de continuidad y se obtiene la siguiente (Zannetti, 1990):

$$C = \frac{1}{2\pi^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z t} \exp \left[-\frac{(x - ut)^2}{2\sigma_x^2(t)} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2(t)} - \frac{z^2}{2\sigma_z^2(t)} \right]$$

Donde:

- C = Concentración del contaminante en un área
- Q = Emisión de contaminante
- u = Velocidad del viento
- $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ = Desviación estándar de la pluma
- x, y, z = Posición de la pluma

El modelo de difusión de gases pesados o densos estima concentraciones del contaminante a nivel del suelo en gases más densos que el aire y asume condiciones similares a la del modelo gaussiano su fórmula general es la siguiente:

$$C(x, y, z) = C_r \exp \left[-\left(\frac{y - b(x)}{S_y(x)} \right)^2 - \left(\frac{z}{S_z(x)} \right)^{1+\alpha} \right] \quad |y| > b$$

Donde:

- C = Concentración del contaminante
- C_r = Concentración del contaminante al nivel de piso
- x, y, z = Posición del contaminante
- b = Ancho de la sección horizontal de la pluma
- S_y, S_z = Parámetro de perfil de concentración

3.5 CARACTERÍSTICAS DEL PAQUETE COMERCIAL SELECCIONADO

El paquete comercial seleccionado es **ALOHA** ya que es el que más se adapta a las condiciones del caso en particular, puede resolver problemas rápidamente y proveer resultados en forma gráfica y en un formato fácil de utilizar por lo que es una herramienta de ayuda en casos de respuesta a emergencias.

3.1 Características del paquete de simulación ALOHA

ALOHA

Localización de Áreas para Atmósferas Peligrosas
(Areal Locations of Hazardous Atmospheres)

Tipo de modelo

Gaussiano de pluma

Degadis (Dispersión de gases densos)

Características de modelación

Modela únicamente dispersiones de aire de sustancias volátiles

Predice la concentración con respecto al tiempo, para un lugar específico

Requiere de una gran variedad de datos de entrada

Incluye una base de datos de más de 700 compuestos químicos

Toma en cuenta factores que afectan la velocidad de emisión sobre el tiempo tales como: evaporación de gases fríos provenientes de tanques

Incluye un modelo de dispersión de gases pesados

Incorpora dos modelos de dispersión uno para calcular el comportamiento de la nube de vapor del gas y otro para modelar la dispersión de gases pesados (nubes de vapor más densas que el aire)

Dependencia del tiempo

Predice la duración de la liberación siempre y cuando no sea mayor de una hora, después de una hora se debe retroalimentar ajustando las condiciones meteorológicas

Emisiones de líquidos no presurizados

Supone que el flujo del líquido se detiene cuando el nivel en el tanque disminuye

Calcula la velocidad de esparcimiento de un charco como función de la masa, la densidad del líquido y la gravedad

Calcula la velocidad de evaporación dependiendo de la temperatura del charco y del flujo de calor

Toma en cuenta los cinco términos de flujo de energía, radiación solar, radiación por longitud de onda, intercambio de calor de la fuente, calor sensible y pérdidas de energía por evaporación

Fugas en dos fases

Predice que una sustancia puede fluir de un tanque en una fuga de dos fases (vapor y aerosol)

Asume que todo el material sale del tanque

Fuga de gases puros

Se basa en la velocidad del sonido para conocer el flujo del gas (subsónico o supersónico)

Emisiones en tuberías de gases

Modela fugas con flujo en estado estacionario (tuberías largas) y en estados no estacionarios (reducciones de diámetro, codos)

Fuente: <http://response.restoration.noaa.gov/comeo/AlohArch.pdf>

Aloha usa un modelo de dispersión del aire el cual se puede utilizar como una herramienta para la predicción del movimiento y dispersión de gases, predice las concentraciones de los contaminantes viento debajo de la fuente de liberación considerando las características físicas del material liberado y del sitio, así como las condiciones y circunstancias de ésta. Usa dos modelos de dispersión separados: Gaussiano y Gases pesados.

Aloha predice la extensión del área viento abajo en un accidente químico de corta duración, donde la gente puede estar en riesgo a concentraciones peligrosas de gases tóxicos. Los datos requeridos por este programa son fáciles de obtener o estimar en el escenario del accidente.

El simulador modela la dispersión de la liberación de un gas contaminante en la atmósfera, y arroja un diagrama que muestra una vista superior del área en la cual se predice que las concentraciones del gas pueden alcanzar niveles peligrosos.

Este paquete comercial tiene ciertas limitaciones como (Aloha User's Manual, 1999):

- No provee información más allá de la que se le proporciona.
- Puede presentar algunos problemas al modelar a pesar de que la información sea correcta como en los casos de muy bajas velocidades del viento, condiciones atmosféricas estables, condiciones de terrenos inestables, niveles de concentración variables especialmente cerca de la fuente de liberación.
- No predice efectos de fuego o reacción química, presencia de partículas y topografía.

CAPITULO IV

SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE ALTO RIESGO

4.1 CRITERIOS DE SELECCIÓN

Los sitios donde se llevaron a cabo las modelaciones para cada una de las actividades establecidas previamente en éste trabajo, se seleccionaron tomando en cuenta diferentes factores que pudieran mostrar con claridad, el por qué de cada uno de ellos y con el objetivo de tener conclusiones precisas.

Como principal criterio de selección se tomó los daños que ocasionarían accidentes susceptibles de presentarse en el almacenamiento, transporte o distribución de amoniaco, esto con el fin de obtener resultados adecuados para la toma de decisiones al momento de establecer medidas de prevención.

Los criterios de selección en cada caso fueron diferentes, ya que cada actividad tiene sus propios riesgos y cualquier evento que pudiera existir es diferente entre sí, teniendo en consideración las características del lugar, las condiciones meteorológicas, la densidad poblacional e incluso la actividad económica de cada sitio.

4.1.1 Criterios de selección del sitio de distribución

La distribución del amoniaco tiene una red muy compleja y se lleva a cabo en todo México, atraviesa casi los 32 estados, en el anexo 1 se muestra un mapa donde se muestran algunas empresas que se encargan de distribuir las en toda la República Mexicana, para realizar dicha actividad se existen diferentes modalidades encontrándose los amonieductos, los distintos tipos de contenedores que se llevan por vía terrestre, así como uno que otro buque-tanque.

Este trabajo sólo se enfocó a la distribución por medio de amonieductos, ya que es una modalidad en la que se tiene poca información y tiene grandes riesgos debido a que las actividades industriales se encuentran en regiones mayormente pobladas.

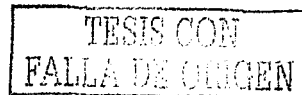
Para seleccionar los sitios de la modelación en esta actividad se recopiló información acerca de los sitios de producción de amoniaco y de la red de tuberías que transportan la sustancia, se encontraron datos de las dimensiones que proporcionan algunas empresas en su PPA (Programa de Prevención de Accidentes Fuente: CENAPRED- INE/ SEMARNAT / SEGOB, 2001) y debido a la poca información obtenida de este tipo de distribución, se tomaron estos mismos datos para modelar otras situaciones, y los lugares seleccionados para simular matemáticamente, fueron aquellos en donde se encuentran amonieductos.

4.1.2 Criterios de selección del sitio de almacenamiento

El almacenamiento de amoniaco, es una actividad que se lleva a cabo con mucha frecuencia, ya que las empresas generalmente cuentan con centros de almacenamiento ya sean de alta o baja capacidad.

Para seleccionar los sitios de modelación en esta actividad, se tomaron en cuenta los reportes de las empresas que aportan información sobre sus PPAs en donde se describen las características de las sustancias involucradas en sus procesos productivos (para este caso, amoniaco) y las capacidades de almacenamiento entre otros. Después de analizar estos datos se optó por seleccionar los sitios con base en los siguientes criterios:

- La capacidad mayor de almacenamiento reportada. Esto dará información en caso de que ocurra un accidente en condiciones críticas respecto al volumen liberado.



- El volumen almacenado, aportará datos que les servirán a empresas que manejen volúmenes promedio de almacenamiento y permitirá conocer las consecuencias de accidentes que ocurran en un rango de 35,000 litros (el volumen promedio reportado por las empresas).
- La mínima capacidad de almacenamiento es importante ya que dicha información funcionará para industrias pequeñas como los son las fábricas de hielo y otros negocios pequeños.

4.1.3 Criterios de selección del sitio en el transporte

Debido a que la actividad del transporte no se realiza en un punto fijo, ésta presenta una gran variación de escenarios posibles de simulación de accidentes, distintas rutas y ambientes así como diferentes densidades poblacionales y condiciones meteorológicas e incluso las capacidades de transporte no son las mismas. Esta amplia gama de elementos involucrados no fueron suficientes para tomar una decisión en cuanto al sitio.

Por lo anterior dentro de los criterios utilizados en la selección del sitio a modelar en esta actividad se eligieron las carreteras con mayor circulación, la densidad poblacional y se incluyeron a los Estados con mayor número de accidentes.

4.1.4 Criterios de selección de los escenarios a modelar

Los escenarios en donde se llevaron a cabo las modelaciones se pueden llamar los "peores escenarios" debido a que fueron seleccionadas las condiciones meteorológicas más críticas para la sustancia, con el objeto de sobrestimar los resultados ya que como se comentó en el capítulo anterior el modelo tiene un grado de imprecisión por ser sencillo y no requerir mucha información.

Se decidió realizar las simulaciones con dos tipos de condiciones críticas, a una de ellas se le llamó condiciones críticas extremas la cual se presenta esporádicamente sin embargo puede ser muy peligrosa, se presenta cuando existe estabilidad en la atmósfera, los elementos que permiten conocer cuando se presenta son la humedad relativa baja, temperaturas bajas, velocidad de viento menor a 1 m/s, cielo despejado; este tipo de condiciones son más frecuentes durante la noche y a las otras condiciones se le denominó críticas frecuentes, la cual como lo indica el nombre son más comunes, ésta se presenta generalmente durante el día y con las condiciones contrarias a la anterior.

4.2 SELECCIÓN DE LOS SITIOS

4.2.1 Sitios para la modelación en la distribución

Los sitios donde se encuentran amonióductos son los siguientes (PEMEX, 1992, 2000):

- Camargo, Chihuahua – Centro embarcador de Camargo
Camargo, Chihuahua es una de las dos zonas de producción de amoniaco en México y se transporta en amonióductos hasta el Centro embarcador de Camargo de ahí se distribuye a las empresas que lo requieran.
- Cosoleacaque, Veracruz – Pajaritos, Veracruz
Cosoleacaque, Veracruz es el centro de mayor producción y Pajaritos, Ver, ya que ahí se encuentra los contenedores de almacenamiento del amoniaco y de ahí es distribuido a las empresas.

- Cosoleacaque, Veracruz – Salina Cruz, Oaxaca
Los datos de esta ruta fueron proporcionados por una empresa en su PPA, Cosoleacaque, Veracruz es centro de producción y se distribuye en tuberías a Salina Cruz, Oaxaca.

Las dimensiones de las tuberías son las mismas (exceptuando la longitud), ya que no se tienen datos precisos de cada lugar, y se extrapolaron los ya conocidos, además que las condiciones críticas para la sustancia son las mismas y los resultados obtenidos son similares, por esta razón y de acuerdo a la probabilidad de mayor riesgo, a la frecuencia de distribución de amoniaco y a la densidad poblacional del lugar se decidió simular las liberaciones accidentalmente de amoniaco en: *Cosoleacaque, Veracruz – Pajaritos, Veracruz*

4.2.2 Sitios para la modelación en el almacenamiento

- Coatzacoalcos, Veracruz
Este lugar se escogió porque como ya se mencionó las empresas dan manifiesto de su capacidad y éste fue el sitio donde se almacena la mayor capacidad de amoniaco con 367,110 L mensuales.
- Querétaro, Querétaro
La capacidad reportada por la empresa ubicada en este sitio tiene la capacidad media con 35,000 L mensuales de almacenamiento.
- Monterrey, Nuevo León
La capacidad que se reportó en el PPA de la empresa ubicada en esta Ciudad es de 1,400 L.

4.2.3 Sitios para la modelación en el transporte

Como en el caso anterior las condiciones críticas en las que se efectuaron las simulaciones son las mismas y los contenedores para transportar la sustancia tienen las mismas dimensiones, obteniéndose valores similares en las simulaciones, por ello se decidió, llevar a cabo la simulación matemática solo en el Estado con mayor número de accidentes, se seleccionó su centro poblacional más grande y que presentara una importante actividad industrial, quedando como sitio de modelación en el transporte: *Veracruz, Ver.*

En la figura 4.1 se muestra la ubicación de los sitios donde se llevaron a cabo las simulaciones en cada actividad.

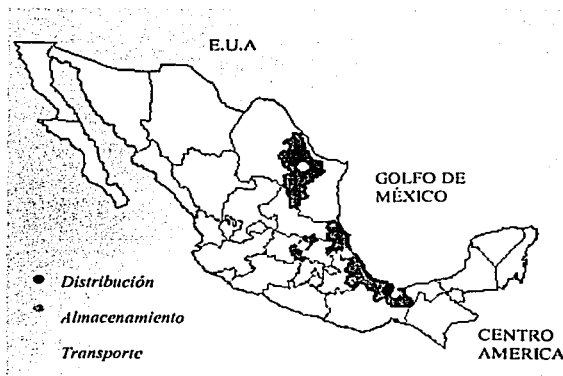


Figura 4.1 Sitios donde se llevaron a cabo las modelaciones en cada actividad

4.3 SELECCIÓN DE LOS ESCENARIOS

4.3.1 Condiciones meteorológicas

Los parámetros de modelación que requiere el paquete de simulación ya se mencionaron en el capítulo anterior y se justificó la importancia de cada una, por ello en este inciso solo se mencionarán los valores de cada uno de ellos en cada actividad, tomando en cuenta que ya se explicó el criterio de selección de éstas.

De acuerdo con CFR 40 parte 68.22 los escenarios críticos para liberaciones accidentales de una sustancia como el amoniaco son una velocidad de viento de 1.5 m/s y la estabilidad F. (www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_40/40cfr68_00.html)

Tomando como referencia la tabla de estabilidades de Turner, 1970 a estabilidad más frecuente es la "D" ya que abarca un rango muy amplio de velocidades de viento en este caso la más crítica es la de menor velocidad de viento, por tal razón se tomó dicha estabilidad para simular en las condiciones críticas frecuentes. En las tablas 4.1, 4.2, 4.3 se dan las condiciones con las que se realizarán las simulaciones en cada una de las actividades.

4.1 Condiciones Meteorológicas de los sitios de Distribución

| PARÁMETROS | COSOLEACAQUE, VERACRUZ | |
|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| | Condiciones Críticas | Condiciones Frecuentes |
| | Extremas | críticas Frecuentes |
| TEMPERATURA PROMEDIO DEL AIRE | 15.57 | 26.5 |
| DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO | N | N |
| VELOCIDAD DEL VIENTO | 1.5 | 3 |
| ESTABILIDAD ATMOSFERICA | F | D |
| HUMEDAD RELATIVA | 8.05 | 10.56 |
| ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | 50 | 50 |
| LATITUD NORTE | 18° 00' | 18° 00' |
| LONGITUD OESTE | 94° 38' | 94° 38' |

Fuente: Centro Nacional de Meteorología, 2002

4.2 Condiciones Meteorológicas de los sitios de Almacenamiento

| PARÁMETROS | MONTERREY, NUEVO LEÓN | | QUERETARO, QUERETARO | | COATZACOALCOS, VERACRUZ | |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones críticas Frecuentes | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones críticas Frecuentes | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones críticas Frecuentes |
| TEMPERATURA PROMEDIO DEL AIRE | 2.17 | 24.76 | 2.42 | 19.24 | 15.57 | 26.5 |
| DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO | ENE | ENE | W | W | N | N |
| VELOCIDAD DEL VIENTO | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 | 1.5 | 3 |
| HUMEDAD RELATIVA | 63 | 66.67 | 50.54 | 54.24 | 8.05 | 10.56 |
| ESTABILIDAD ATMOSFERICA | F | D | F | D | F | D |
| ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | 540 | 540 | 1820 | 1820 | 50 | 50 |
| LATITUD NORTE | 25° 40' | 25° 40' | 20° 35' | 20° 35' | 18° 00' | 18° 00' |
| LONGITUD OESTE | 100° 18' | 100° 18' | 100° 23' | 100° 23' | 94° 38' | 94° 38' |

Fuente: Centro Nacional de Meteorología, 2002

4.3 Condiciones Meteorológicas de los sitios de Transporte

| PARÁMETROS | VERACRUZ, VERACRUZ | |
|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones Críticas Frecuentes |
| TEMPERATURA PROMEDIO DEL AIRE | 13.54 | 25.14 |
| DIRECCIÓN PREDOMINANTE DEL VIENTO | NE | NE |
| VELOCIDAD DEL VIENTO | 1.5 | 3 |
| ESTABILIDAD ATMOSFERICA | F | D |
| HUMEDAD RELATIVA | 5.16 | 8.10 |
| ELEVACIÓN (m.s.n.m.) | 1460 | 1460 |
| LATITUD NORTE | 19° 12' | 19° 12' |
| LONGITUD OESTE | 96° 08' | 96° 08' |

Fuente: Centro Nacional de Meteorología, 2002

4.3.2 Escenarios de liberación

Como se mostró en la gráfica 2 y 8 del capítulo 1 la clase de accidente más frecuente para el amoniaco es la fuga, tanto en la industria como en el transporte con un porcentaje de 88 y 29% respectivamente, y debido a las propiedades del amoniaco al ser almacenado, ya descritas anteriormente, el escenario de liberación para esta sustancia es: *Fuga instantánea*, en la figura 4.2 se da un prototipo de este tipo de fuga.

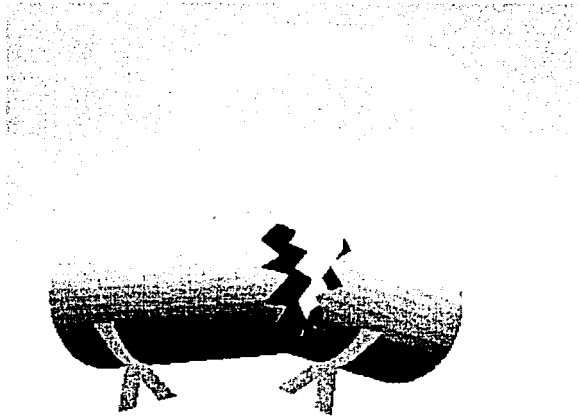


Figura 4.2 Prototipo de una fuga instantánea

4.3.3 Características de la fuente de emisión

Con la referencia obtenida en los PPAs de las empresas, se obtuvieron las medidas de los amoni ductos que distribuyen la sustancia, así como las características de los tanques de almacenamiento y de los tanques donde se transporta el compuesto; así como el valor del caudal en las tuberías que transportan amoniaco; el dato del tamaño del orificio de la fuga fue proporcionado por un experto en transporte de materiales peligrosos (Montes de Oca, 2002). En las tablas 4.4 a 4.6 se dan las dimensiones de los tanques donde se almacena y distribuye el amoniaco.

4.4 Dimensiones de los amoni ductos

| | |
|-----------------------------|----------------|
| Longitud | 1000 m |
| Diámetro | 10" |
| Caudal | 3000 ton/ día |
| Presión | 7.4 atmósferas |
| Tamaño del orificio de fuga | 2" |

Fuente: Anuario de Labores, PEMEX, 1982

4.5 Dimensiones de los tanques de almacenamiento

| Parámetros | MONTERREY, N. L. | QUERETARO, QRO. | COATZACOALCOS, VER. |
|-------------------------------|------------------|-----------------|---------------------|
| Volumen | 1400 L | 35,000 L | 367,110 L |
| Temperatura de almacenamiento | - 33 °C | - 33 °C | -33 °C |
| Diámetro | 1.39 | 4.6m | 8.88 m |
| Tamaño de orificio de fuga | 2" | 2" | 2" |

Fuente: Anuario de Labores, PEMEX, 1982, 2000.

4.6 Dimensiones del recipiente para el transporte

| | |
|-----------------------------|----------|
| Volumen | 36,223 L |
| Longitud | 11.53 m |
| Diámetro | 2 m |
| Tamaño del orificio de fuga | 4" |

Fuente: MS Carriers S:A: de C:V:, 2000

4.3.4 Características de receptor

Los sitios donde se llevarán a cabo las simulaciones, son sitios urbanos con densidades poblacionales grandes, por lo tanto el riesgo es mayor, no se tiene una ubicación del receptor, ya que éste trabajo contribuirá en la decisión de establecer límites en los lugares donde se maneje amoniaco con el fin de evitar efectos tóxicos en los seres humanos, sin embargo para fines de este trabajo se tomo como distancia donde se encuentra un receptor la obtenida en un informe de un accidente ocurrido en la ciudad de Veracruz, Veracruz que es de 500 metros. (ACQUIM, 2000)

CAPITULO V

DISCUSIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN MATEMÁTICA

5.1 RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Las simulaciones se llevaron a cabo en los lugares designados con los parámetros ya mencionados en el capítulo anterior, los resultados de éstas se obtuvieron tanto para las condiciones críticas extremas, así como para las condiciones críticas frecuentes y para cada una de las actividades distribución, almacenamiento y transporte.

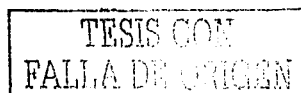
5.1 Resultados de la simulación en la distribución

| Lugar | Cosoleacaque, Ver. | |
|---|-------------------------------|---------------------------------|
| | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones Críticas Frecuentes |
| Distancia máxima donde se difunde el amoníaco | 499 m | 416 m |
| Tiempo de liberación | 28 min | 28 min |
| Flujo liberado | 73.3 kg/min | 73.3 kg/min |
| Concentración fuera de los edificios | 313 ppm | 225 ppm |
| Concentración dentro de edificios | 8.08 ppm | 6.42 ppm |
| Cantidad total liberada de amoníaco | 230 kg | 230 kg |

Los resultados de la simulación de la actividad de almacenamiento de amoníaco son muy similares en Querétaro, Qro. Y en Coahuila de Zaragoza, Ver., en todos los rubros y difieren con los resultados obtenidos en Monterrey, N. L., como ejemplo tenemos el tiempo de liberación en los dos primeros tenemos un tiempo de 60 minutos y en el último tenemos 3 minutos.

5.2 Resultados de la simulación en el almacenamiento

| Lugar | Monterrey, N. L. | | Querétaro, Qro. | | Coahuila de Zaragoza, Ver. | |
|---|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones Críticas Frecuentes | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones Críticas Frecuentes | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones Críticas Frecuentes |
| Distancia máxima donde se difunde el amoníaco | 676 m | 720 m | 949 m | 747 m | 975 m | 773 m |
| Tiempo de liberación | 3 min | 3 min | 60 min | 60 min | 60 min | 60 min |
| Flujo liberado | 129 kg/min | 129 kg/min | 141 kg/min | 141 kg/min | 142 kg/min | 142 kg/min |
| Concentración fuera de los edificios | 588 ppm | 531 ppm | 891 ppm | 553 ppm | 900 ppm | 575 ppm |
| Concentración dentro de edificios | 10.4 ppm | 6.52 ppm | 277 ppm | 196 ppm | 143 ppm | 219 ppm |
| Cantidad total liberada de amoníaco | 291 kg | 291 kg | 8,416 kg | 8,416 kg | 8,513 kg | 8,514 kg |



Los resultados en el transporte fueron los más elevados de todas las simulaciones realizadas, sin embargo esto es porque el comportamiento del amoniaco es lineal y el simulador la toma homogénea a lo largo de la liberación.

5.3 Resultados de la simulación en el transporte

| Lugar | Veracruz, Ver. | |
|---|-------------------------------|---------------------------------|
| | Condiciones Críticas Extremas | Condiciones Críticas Frecuentes |
| Distancia máxima donde se difunde el amoniaco | 1500 m | 1100 m |
| Tiempo de liberación | 41 min | 41 min |
| Flujo liberado | 310 kg/min | 310 kg/min |
| Concentración fuera de los edificios | 1940 ppm | 1030 ppm |
| Concentración dentro de edificios | 350 ppm | 269 ppm |
| Cantidad total liberada de amoniaco | 11,049 kg | 11,049 kg |

5.2 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACION

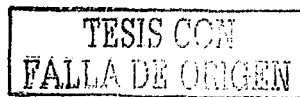
Con base en los resultados de las simulaciones que se presentan en los anexos 2, 3 y de las gráficas de la 5.1 a la 5.20 donde se observa el comportamiento de las concentraciones y las distancias donde el amoniaco se difunde, se obtuvieron los intervalos de los radios de afectación para cada actividad, así como el tiempo de liberación, las concentraciones máximas dentro y afuera de edificios, en los siguientes párrafos se abordará con más detalle cada punto:

5.2.1 Análisis en los resultados en la distribución de amoniaco

En esta actividad los resultados fueron los siguientes: el intervalo de radios de afectación es de 416 a 499 m esto se obtuvo a partir de que la distancia máxima donde se difunde el amoniaco en condiciones críticas extremas (CCE) fue de 499 m a la redonda, y en condiciones críticas frecuentes (CCF) fue de 416 m, cabe mencionar que dicho parámetro obtenido, no se proporciona una dirección del viento específica, debido a que en las condiciones críticas simuladas la dirección del viento puede cambiar inesperadamente y ser contraproducente, por ello el valor de la distancia se toma alrededor de la fuente de emisión.

El intervalo de la concentración afuera de edificios es de 225 a 313 ppm, si se compara este resultado con los valores que se presentan en la tabla 1.5 del capítulo 1 donde se muestra los efectos provocados por el amoniaco al organismo humano, se tiene que para este intervalo el efecto consistiría en una severa irritación en los ojos y quemaduras químicas a las vías respiratorias con secuelas graves. Y dentro de edificios el intervalo es de 6.42 a 8.08 ppm donde solo se percibe el olor.

Tanto el tiempo de liberación de 28 minutos como el flujo de liberación de 73.3 kilogramo por minuto (kg/min) son iguales en ambas condiciones (CCE y CCF).



Cosoleacaque, Veracruz

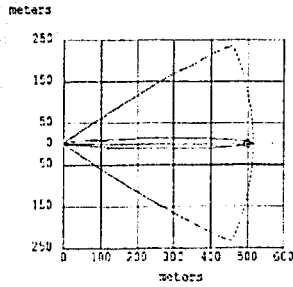
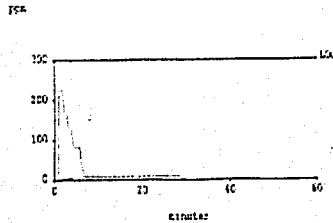


Figura 5.1 Distancia en donde la concentración se difunde en la distribución en condiciones extremas



5.2 Variabilidad de la concentración con el tiempo en la distribución en condiciones extremas

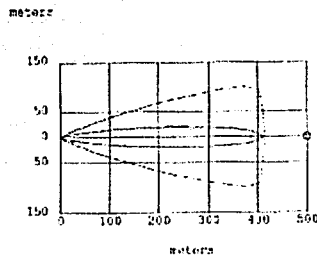
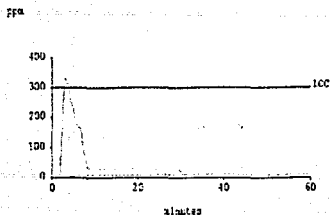


Figura 5.3 Distancia en donde la concentración se difunde en la distribución en condiciones frecuentes

TESIS CON
FALLA DE COPIEN



5.4 Variabilidad de la concentración con el tiempo en la distribución en condiciones frecuentes

5.2.2 Análisis de resultados en el almacenamiento de amoniaco

De acuerdo con los resultados obtenidos en la actividad de almacenamiento podemos dividir las fugas en pequeñas y grandes, con un volumen menor a 35,000 litros y mayor a 35,000 litros respectivamente (esta clasificación es debida a que los resultados obtenidos en las simulaciones a partir de 35,000 L son muy similares entre si), quedando los resultados como se muestran en la tabla 5.4. Los valores del intervalo de las concentraciones máximas fueron en dicha actividad en fugas pequeñas de: 531-588 ppm ocasionando severa irritación en los ojos y quemaduras a las vías respiratorias con secuelas graves; dentro de edificios el intervalo fue de 6.52-10.4 ppm, esta concentración solamente provoca la percepción del olor. Para fugas mayores la concentración afuera de edificios es de 564-895.5 ppm donde los efectos a la salud son similares al anterior caso, y dentro de edificios la concentración es de 207.5-210 ppm, lo que ocasionaría irritación leve en ojos, nariz y garganta.

El tiempo que dura una liberación de amoniaco (no importando las condiciones simuladas) en una fuga pequeña es de 3 minutos, y para una fuga grande es mayor a 60 minutos, el paquete de simulación ALOHA tiene como limitante que solo predice liberaciones hasta 60 minutos, por lo tanto se tomará este valor.

Monterrey, Nuevo León

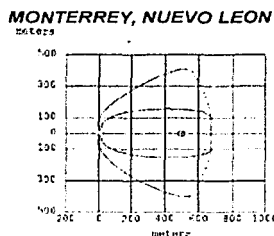
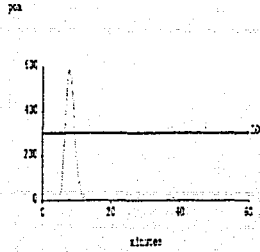


Figura 5.5 Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones extremas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



5.6 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones extremas

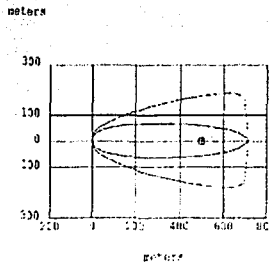
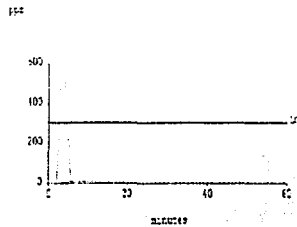


Figura 5.7 Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones frecuentes



5.8 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones frecuentes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Querétaro, Querétaro

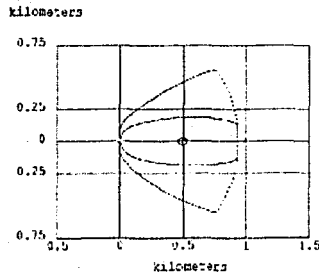
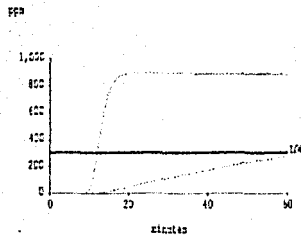


Figura 5.9 Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones extremas



5.10 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones extremas

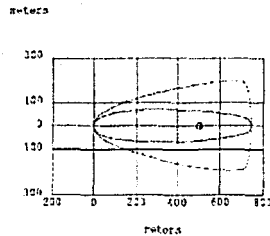
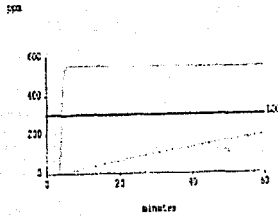


Figura 5.11 Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones frecuentes



5.12 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones frecuentes

Coatzacoalcos, Veracruz

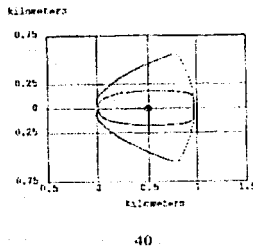
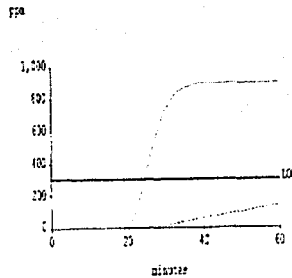


Figura 5.13 Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones extremas



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

5.14 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones extremas

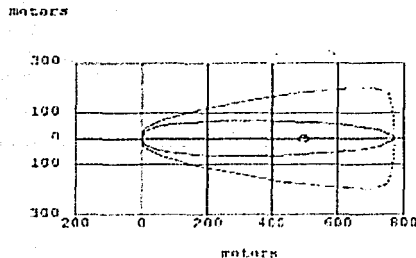
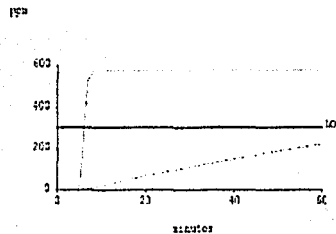


Figura 5.15 Distancia en donde la concentración se difunde en el almacenamiento en condiciones frecuentes



5.16 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el almacenamiento en condiciones frecuentes

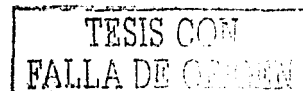
5.2.3 Análisis de resultados en el transporte de amoniaco

En el transporte los resultados se manifestaron los más altos de las simulaciones quedando de la siguiente manera: el intervalo del radio de afectación fue de 1100-1500 m a la redonda, con un tiempo de liberación de 41 minutos y el flujo de liberación de 310 kg/ min, lo que el intervalo de la concentración máxima afuera de edificios tenga un valor de 1030-1940 ppm de acuerdo a la tabla 1.5 se tiene que los efectos a la salud son daños irreversibles en laringe, bronquios, convulsiones. Dentro de un edificio la concentración máxima es de 269-350 ppm, con efectos a la salud de severa irritación en los ojos y quemaduras en las vías respiratorias con secuelas graves.

Los factores importantes o decisivos en las simulaciones son el volumen almacenado o transportado y el diámetro del orificio de fuga, éstos determinan el tiempo de liberación, el flujo de liberación y el comportamiento de la sustancia.

A partir del comportamiento que se manifiesta en las gráficas de la concentración contra el tiempo, se deriva que cuando el volumen almacenado es menor, el tiempo de liberación también lo es, y se encuentra fluctuando de 3 a 28 minutos; sin embargo si el volumen es más significativo el tiempo de liberación no se conoce con exactitud ya que el programa sólo simula hasta 60 minutos y el tiempo de liberación es mayor.

Los resultados de las simulaciones concuerdan con los resultados de Kaiser (1999) quien realizó una comparación con otros programas de simulación obteniendo resultados similares para el simulador ALOHA. (<http://www.epa.gov/swercepp/pubs/backup.pdf>)



Veracruz, Veracruz

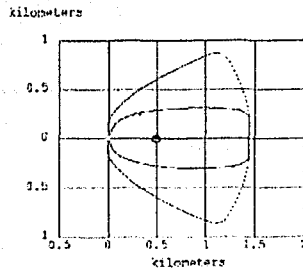


Figura 5.17 Distancia en donde la concentración se difunde en el transporte en condiciones extremas

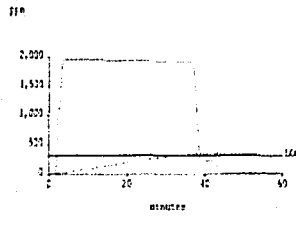


Figura 5.18 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el transporte en condiciones extremas

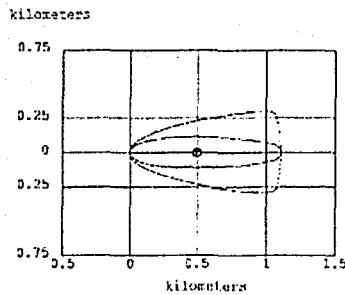


Figura 5.19 Distancia en donde la concentración se difunde en el transporte en condiciones frecuentes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

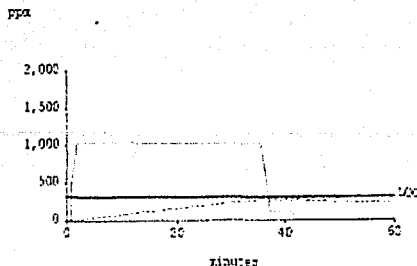


Figura 5.20 Variabilidad de la concentración con el tiempo en el transporte en condiciones frecuentes

El análisis de los resultados en las actividades de distribución, almacenamiento y distribución de amoniaco, nos dan una clara idea del comportamiento de la sustancia y nos ayuda a obtener datos precisos que nos permitan dar medidas de seguridad para el manejo del compuesto, por ejemplo en el almacenamiento se escogieron tres sitios donde simular, para dar datos mas precisos se realizó un promedio de los resultados y se clasificaron en fugas pequeñas y fugas grandes estos con el fin de enriquecer las medidas de seguridad para el uso del amoniaco.

5.3 Análisis de Resultados de la simulación de amoniaco

| Parámetro | Distribución | Almacenamiento | | Transporte |
|---|---|---|---|--|
| | | Fugas pequeñas (> 35, 000 L) | Fugas grandes (< 35, 000 L) | |
| Intervalo de la distancia máxima donde se difunde el amoniaco | 416-498 m a la redonda | 676-720 m a la redonda | 760-962 m a la redonda | 1100-1500 m a la redonda |
| Intervalo de concentraciones máximas promedio | Fuera de edificios: 225-312 ppm (Severa irritación en los ojos y quemaduras a las vías respiratorias con secuelas graves) | Fuera de edificios: 531-588 ppm (Severa irritación en los ojos y quemaduras a las vías respiratorias con secuelas graves) | Fuera de edificios: 564-895.5 ppm (Severa irritación en los ojos y quemaduras a las vías respiratorias con secuelas graves) | Fuera de edificios: 1030-1940 ppm (Severos daños irreversibles en laringe, bronquios, convulsiones) |
| | Dentro de edificios: 6.44-8.28 ppm (Se percibe el olor) | Dentro de edificios: 6.52-10.4 ppm (Se percibe el olor) | Dentro de edificios: 207.5-210 ppm (Irritación leve en ojos, nariz y garganta) | Dentro de edificios: 269-350 ppm (Severa irritación en los ojos y quemaduras a las vías respiratorias con secuelas graves) |
| Duración promedio de la liberación | 28 min | 3min | 60 min | 41 min |
| Flujo de liberación | 73.3 kg/ min | 129 kg/ min | 1412 kg/ min | 310 kg/ min |

CAPITULO VI

MEDIDAS DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE AMONIACO

Basándose en el análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones de amoniaco en las actividades de distribución, almacenamiento y transporte se proponen las siguientes medidas de seguridad, dirigidas a las personas que tienen contacto con la sustancia en cualquiera de sus usos y a la población civil cercana a instalaciones donde se maneje el compuesto, así como a los sitios donde se tenga una liberación accidental de amoniaco:

Algunas de las medidas de seguridad son en general para cualquier actividad, por ello se darán primero y después se darán las específicas para cada caso:

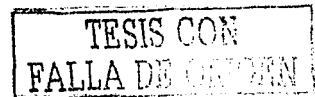
- Como es tóxico no deberán inhalarse los vapores de éste
- Permanecer en dirección del viento
- Ventilar los espacios cerrados
- Las puertas, ventanas, u orificios deben estar sellados
- Usar rocío de agua para reducir los vapores
- Prevenir la entrada de la sustancia a cuerpos de agua
- Tener información acerca de los primeros auxilios que deben seguirse para el amoniaco.
- Mantenerse alejado de las zonas bajas, ya que la sustancia es más densa que el aire, permanece al nivel del suelo y se junta en áreas bajas o confinadas (alcantarillas, sótanos, etc.)
- Contar con un plan de emergencia que contenga los procedimientos necesarios (procedimientos de emergencia) y el personal capacitado (brigada de emergencia) para atender cualquier incidente generado con la sustancia
- Mantener un plan de alerta a la comunidad que esta involucrada, por su cercanía, con las instalaciones donde se maneje amoniaco, proporcionándole información sobre las medidas de seguridad en caso de algún incidente (antes mencionadas)
- Contar con los requisitos regulatorios para el manejo seguro de la sustancia. Hojas de seguridad del material, hoja de emergencia en transportación, información de los peligros y riesgos, requisitos de Naciones Unidas para el transporte, información de a quien dirigirse en caso de accidente.
- Dar mantenimiento a las unidades de transporte así como a las instalaciones y ductos
- Dar cursos de capacitación a las personas involucradas en el manejo del amoniaco en cualquiera de sus actividades

6.1 MEDIDAS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE AMONIACO

Si la liberación ocurre cuando el cielo se encuentra despejado, climas secos (con humedad baja), sin viento (menor de 1 m/s), y durante la noche, existe mayor probabilidad de que se presente estabilidad atmosférica y con ello las condiciones críticas extremas, por lo tanto:

- a. No deben existir asentamientos humanos alrededor de la fuente de emisión por lo menos 400 metros a la redonda del área donde se llevan a cabo las maniobras con las tuberías
- b. El radio de afectación que se debe usar es 499 metros
- c. Permanecer dentro de los edificios o casas alrededor de 30 minutos
- d. Si se decide detener la fuga usar mascarilla o tanque de oxígeno

Si la liberación ocurre cuando existe viento (mayor a 1 m/s), nubes, la humedad en el ambiente es alta y durante el día el radio de afectación se contrae a 416 m y deben seguirse las medidas anteriores.



6.2 MEDIDAS PARA EL ALMACENAMIENTO DE AMONIACO

Cuando la liberación ocurre con el cielo despejado, en climas secos (con humedad baja), sin viento (menor de 1 m/s), y durante la noche, existe mayor probabilidad de que se presente estabilidad atmosférica y el comportamiento del amoniaco es extremo por lo cual deben seguirse las siguientes medidas:

a. Dependiendo del volumen de los tanques almacenadores de amoniaco deberá expedirse la distancia límite de asentamiento humanos

- < 35, 000 L el límite será de 720 m
- > 35, 000 L el límite será de 962 m

b. Deberá conocerse con anticipación el volumen de los tanques de almacenamiento para evaluar que radio de afectación deberá tomarse en caso de una liberación accidental:

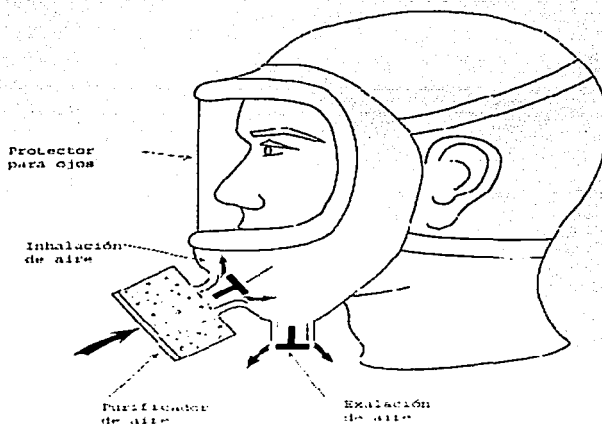
i. Fuga Pequeña:

1. No deben existir asentamientos humanos por lo menos 700 m alrededor de la fuente de emisión
2. El radio de afectación es de 720 m a la redonda
3. Permanecer en los edificios o casas durante 5 minutos
4. Deje que la sustancia se evapore

ii. Fuga grande:

1. No deben existir asentamiento humanos alrededor de la fuente de emisión por lo menos 950 metros a la redonda
2. El radio de afectación que se debe usar es 962 metros
3. Permanecer dentro de los edificios o casas por 60 minutos
4. Si se decide detener la fuga usar mascarilla o tanque de oxígeno

Cuando la liberación ocurre con las condiciones contrarias a las dichas anteriormente el radio de afectación es menor tanto en fugas pequeñas a 676 m y en fugas grandes a 760 m.



6.1 Tipo de mascarilla que debe usarse para protección en fugas de amoniaco

6.3 MEDIDAS PARA EL TRANSPORTE DEL AMONIACO

Si la liberación ocurre en la carretera, cuando el cielo se encuentra despejado, climas secos (con humedad baja), sin viento (menor de 1 m/s), y durante la noche, existe mayor probabilidad de que se presente estabilidad atmosférica y con ello las condiciones críticas extremas, por lo tanto:

- a) Evacuar a las personas en un radio de afectación que de 1500 m
- b) Permanecer dentro de los edificios o casas alrededor de 45 minutos
- c) Las puertas, ventanas, u orificios deben estar sellados
- d) Es indispensable que el conductor tenga mascarilla o tanque de oxígeno
- e) El conductor deberá estar capacitado para cualquier caso de emergencia
- f) El conductor deberá tener sus horas de descanso reglamentarias
- g) Es indispensable que se tengan trazadas rutas específicas
- h) Deberán ir dos transportistas en rutas largas

Si la liberación ocurre cuando existe viento (mayor a 1 m/s), nubes, la humedad en el ambiente es alta y durante el día, el radio de afectación se cierra a 1100 m y deben seguirse las medidas anteriores.

6.4 MEDIDAS DE SEGURIDAD PROPUESTAS POR LA GUÍA DE RESPUESTA EN CASO DE EMERGENCIA (GRENA 2000)

La Guía de Emergencia Norteamericana, es un documento que fue creado para el uso de personas quienes se encuentran en contacto con materiales peligrosos, este libro no proporciona información de las propiedades físicas o químicas de los compuestos, el objetivo es ayudar a la toma de decisiones al encontrarse en una escena de un incidente de materiales peligrosos durante el transporte.

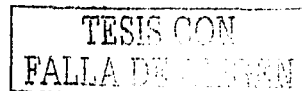
Para el uso de esta guía se debe conocer el nombre del material o su número de Naciones Unidas, a partir de éstos datos se obtiene el número de guía y se busca en la sección naranja (por ello se le conoce como Guía naranja), ésta se encuentra dividida en tres etapas: la primera describe los riesgos potenciales que el material puede presentar como es el fuego/explosión y efectos a la salud, al tener un incidente debe consultarse esta parte primero. La segunda etapa señala las sugerencias generales respecto al aislamiento inmediato del sitio, el tipo de ropa, protección respiratoria. La tercera presenta información sobre los primeros auxilios.

CAPÍTULO 6

En el caso de amoniaco con número de Naciones Unidas de 1005, se tiene que el número de guía es la 125 la cual tiene las siguientes especificaciones:

6.1 Medidas de seguridad proporcionadas por GRENA, 2000

| GUIA 125 Gases Corrosivos | RESPUESTA DE EMERGENCIA |
|--|---|
| <p style="text-align: center;">PELIGROS POTENCIALES</p> <p>A LA SALUD</p> <ul style="list-style-type: none"> • TÓXICO; Puede ser fatal si se inhala • Los vapores son extremadamente irritantes y corrosivos • El contacto con gas o gas licuado puede causar quemaduras, lesiones severas y/o quemaduras por congelación • El fuego producirá gases irritantes, corrosivos y/o tóxicos • Las fugas resultantes del control de incendio pueden causar contaminación. | <p>FUEGO</p> <p>Incendios Pequeños</p> <ul style="list-style-type: none"> • Polvos secos o CO₂; <p>Incendios Grandes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use rocío de agua, niebla o espuma regular • Mueva los contenedores del área de fuego si lo puede hacer sin ningún riesgo • No introducir agua en los contenedores • Los cilindros dañados, deberán ser manejados solamente por especialistas <p>Incendio que involucra Tanques</p> <ul style="list-style-type: none"> • Combata el incendio desde una distancia máxima o utilice soportes fijos para mangueras o chiflones reguladores • Enfíe los contenedores con chorros de agua hasta mucho después de que el fuego se haya extinguido • No ponga agua directamente a la fuente de la fuga o mecanismos de seguridad; puede ocurrir congelamiento • Retírese inmediatamente si sale un sonido creciente de los mecanismos de seguridad de las ventillas, o si el tanque se empieza a decolorar • SIEMPRE mantenerse alejado de los extremos de los tanques |
| <p>INCENDIO O EXPLOSION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Algunos pueden arder, pero no incendiarse inmediatamente • Los vapores de gas licuado son inicialmente más pesados que el aire y se esparcen a través del piso • Los contenedores pueden explotar cuando se calientan • Los cilindros con rupturas pueden proyectarse. | <p>DERRAME O FUGA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Deberán usarse trajes protectores de encapsulamiento total contra el vapor, en derrames y fugas sin fuego • No tocar ni caminar sobre el material derramado • Detenga la fuga, en caso de poder hacerlo sin riesgo • Si es posible, voltee los contenedores que presenten fugas para que escapen los gases en lugar del líquido • Prevenga la entrada hacia vías navegables, alcantarillas, sótanos o áreas confinadas • No ponga agua directamente a derrame o fuente de la fuga • Use rocío de agua para reducir los vapores; o desviar la nube de vapor a la deriva • Aísle el área hasta que el gas se haya dispersado. |
| <p style="text-align: center;">SEGURIDAD PUBLICA</p> <ul style="list-style-type: none"> • LLAMAR primero al número de teléfono de respuesta en caso de emergencia en el documento de embarque. Si el documento de embarque no está disponible o no hay respuesta, diríjase a los números telefónicos enlistados en el forro de la contraportada • Aísle el área del derrame o fuga inmediatamente a por lo menos 100^m 200 metros (330 a 660 pies) a la redonda • Mantener alejado al personal no autorizado • Permanezca en dirección del viento • Muchos de los gases son más pesados que el aire y se dispersan a lo largo del suelo y se juntan en las áreas bajas o confinadas(alcantarillas, sótanos, tanques) • Manténgase alejado de las áreas bajas • Ventile los espacios cerrados antes de entrar. | |
| <p>ROPA PROTECTORA</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use el equipo de aire autónomo de presión positiva (SCBA) • Use ropa protectora contra los productos químicos, la cual esté específicamente recomendada por el fabricante. Ésta puede proporcionar poca o ninguna protección térmica • El traje para bomberos profesionales se recomienda SOLAMENTE para situaciones de incendio, no es efectivo en situación de derrame | <p>PRIMEROS AUXILIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mueva a la víctima donde se respire aire fresco • Llamar a los servicios médicos de emergencia • Aplicar respiración artificial si la víctima no respira • No usar el método de respiración de boca a boca si la víctima ingirió o inhaló la sustancia: proporcione la respiración artificial con la ayuda de una máscara de bolsillo con una válvula de una sola vía u otro dispositivo médico de respiración • Suministrar oxígeno si respira con dificultad • Quitar y aislar la ropa y el calzado contaminados • En casos de contacto con gas licuado, descongelar las partes con agua tibia • En caso de contacto con la sustancia, enjuagar inmediatamente la piel o los ojos con agua corriente durante 20 minutos • Mantener a la víctima en reposo y con temperatura corporal normal • Los efectos de contacto o inhalación se pueden presentar en forma retardada • Mantener a la víctima bajo observación • Asegúrese que el personal médico tenga conocimiento de los materiales involucrados y tomar las precauciones para protegerse a sí mismos. |



MEDIDAS DE SEGURIDAD

| | |
|--|--|
| <p>EVACUACION Derrame</p> <ul style="list-style-type: none"> Vea la Tabla de Aislamiento Inicial y Distancia y de Acción Protectora para las sustancias resaltadas. Para las sustancias no resaltadas, aumente en la dirección a favor del viento, como sea necesario, la distancia de aislamiento mostrada bajo "SEGURIDAD PÚBLICA". <p>Incendio</p> <ul style="list-style-type: none"> Si un tanque, carro de ferrocarril (carrotanque) o autotanque está involucrado en un incendio, AISLE a la redonda a 1600 metros (1 milla) también, considere la evacuación inicial a la redonda a 1600 metros (1 milla). | |
|--|--|

La tabla de Aislamiento Inicial y Distancias y de Acción Protectora para las sustancias resaltadas proporciona los siguientes datos para el amoniaco:

6.2 Tabla de distancias de aislamiento para proporcionadas por GRENA, 2000

| Número de identificación | Nombre del material | Derrames pequeños | | | | Derrames grandes | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|-----------------------------|--------|---|-----------------------|-----------------------------|--------|---|-----------------------|-----|-------|-----|-------|
| | | Primero aislar a la redonda | | Luego proteja a las personas en la dirección del viento durante | | Primero aislar a la redonda | | Luego proteja a las personas en la dirección del viento durante | | | | | |
| | | Metros | (pies) | DIA Km (millas) | NOCTHE Km (millas) | Metros | (pies) | DIA Km (millas) | NOCTHE Km (millas) | | | | |
| 1005 | Amoniaco Anhidro | 30 | (100) | 0.2 | (0.1) | 0.3 | (0.2) | 95 | (300) | 0.3 | (0.2) | 0.8 | (0.5) |

6.5 COMPARACIÓN ENTRE LAS MEDIDAS DE SEGURIDAD PROPUESTAS Y LAS MEDIDAS DE GRENA, 2000

6.3 Comparación entre las medidas de seguridad de GRENA, 2000 y el trabajo de tesis

| Medidas de seguridad | GRENA, 2000 | Este trabajo |
|---------------------------------|-------------|--------------|
| Salud | ♦ | ♦ |
| En caso de incendio o explosión | ♦ | ♦ |
| Ropa protectora | ♦ | X |
| Evacuación | ♦ | ♦ |
| Respuesta a emergencia | ♦ | ♦ |
| En caso de fuego | ♦ | ♦ |
| Fuga o Derrame | ♦ | ♦ |
| Primeros auxilios | ♦ | X |
| Información para prevención | X | ♦ |

♦ Si cumple X No cumple

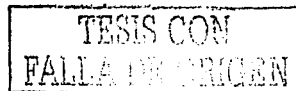


Como información adicional el trabajo de tesis propone medidas de seguridad para los sitios donde se maneje amoniaco en cualquiera de las actividades estudiadas en este documento:

1. Contar con un plan de emergencia que contenga los procedimientos necesarios (procedimientos de emergencia) y el personal capacitado (brigada de emergencia) para atender cualquier incidente generado con la sustancia
2. Mantener un plan de alerta a la comunidad que esta involucrada, por su cercanía, con las instalaciones donde se maneje amoniaco, proporcionándole información sobre las medidas de seguridad en caso de algún incidente (antes mencionadas)
3. Contar con los requisitos regulatorios para el manejo seguro de la sustancia. Hojas de seguridad del material, hoja de emergencia en transportación, información de los peligros y riesgos, requisitos de Naciones Unidas para el transporte, información de a quien dirigirse en caso de accidente.

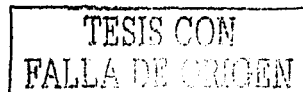
En general las medidas de seguridad para el amoniaco que se proporcionan en GRENA, 2000 para emergencias en el transporte, son muy similares a las del actual trabajo, sin embargo existen puntos, como lo es el radio de afectación en donde se difiere en gran medida, esto debido a que GRENA, ofrece medidas de seguridad estandarizadas para cualquier sitio de Norteamérica, en cambio este trabajo particularizó las condiciones, adaptándolas a los sitios donde han ocurrido con mayor frecuencia accidentes con el compuesto, esto nos permite obtener información precisa por otro lado el presente trabajo consideró otras actividades a parte del transporte lo que dio como resultado medidas más completas en el comportamiento de la sustancia.

El trabajo de tesis presentado aportó un conocimiento más detallado en el campo de medidas de seguridad, dichas medidas fueron justificadas con la información obtenida de las diversas dependencias gubernamentales, con bases de datos acerca de accidentes ocurridos con amoniaco tanto en la industria como en el transporte, con las condiciones metereologicas que se presentan en México, esto nos permite tener medidas de seguridad adaptadas a las necesidades que nos rigen; los sitios donde se llevaron a cabo las simulaciones fueron seleccionados de forma estratégica, tomando en cuenta los lugares con mayor número de accidentes, la densidad poblacional entre otras. El hecho de haber tomado los peores escenarios nos permite tener un rango amplio en las medidas, así se tiene la preparación suficiente para manejar cualquier evento que distorsione la seguridad de la población civil.



CONCLUSIONES

1. El amoniaco es una sustancia que se utiliza en diferentes actividades, es un compuesto muy tóxico ya que a concentraciones 5000 ppm puede causar la muerte instantánea.
2. El compuesto estudiado ocupa el segundo lugar entre la lista de sustancias presentes con mayor número de accidentes, la clase de accidente más frecuente con dicha sustancia es la fuga tanto en el transporte con un 29% como en la industria con un 88%, los estados que inciden frecuentemente en accidentes con amoniaco.
3. La legislación en México acerca de los materiales peligrosos aplica forma general al amoniaco como lo es Reglamento para el transporte, la LGEEPA, la Ley General de Protección Civil entre otros, pero no existe una normatividad oficial que lo regule de manera específica, existen Normas de Referencia para la sustancia, sin embargo no son obligatorias, lo que muestra la necesidad de trabajar en este punto.
4. El límite máximo de exposición propuesto en las Normas de Referencia es de 85 ppm durante 8 horas diarias, sin embargo esta concentración ya provoca irritación leve en los ojos, nariz y garganta. Una vez más se hace hincapié a trabajar en la regulación del compuesto. En Estados Unidos de Norteamérica, la CFR 40 se encarga de regular las sustancias peligrosas en el ambiente y su límite máximo de exposición es de 25 ppm.
5. Para analizar las nubes tóxicas de amoniaco el modelo escogido fue el Gaussiano, ya que presentan resultados aproximados al fenómeno real y de forma rápida, además requiere de mínima información.
6. En la realización de las simulaciones de emisiones accidentalmente liberadas se usó un paquete comercial llamado ALOHA, éste obtiene resultados rápidamente lo que es muy útil para casos en respuesta a emergencias, usa los modelos Gaussiano y Degadis (Dispersión de gases densos), también predice la extensión del área en un accidente donde las personas pueden estar en riesgo y las concentraciones de la sustancia.
7. La selección de los criterios para los parámetros y los sitios a simular, fue el considerar el peor escenario, es decir las condiciones extremas de los sitios, esto con el fin de obtener resultados que pudieran abarcar cualquier suceso y estar preparados para la situación más adversa. Los sitios se escogieron tomando en cuenta factores como la densidad poblacional y los lugares donde se llevan a cabo las actividades estudiadas en este documento.
8. El sitio en la actividad de distribución donde se llevó a cabo la simulación fue Cosoleacaque, Veracruz, ya que aquí es donde se produce el amoniaco y su distribución es más frecuente por ductos, las dimensiones de éstos se obtuvieron de la empresa que lo produce en México (PEMEX).
9. La actividad de almacenamiento es más frecuente y por ello se tomaron tres sitios para realizar las simulaciones dichos sitios fueron: Coatzacoalcos, Ver., Monterrey N.L. y Querétaro, Qro. Las capacidades de almacenamiento se obtuvieron de reportes de las empresas involucradas.



10. En la actividad de transporte se seleccionó el estado de Veracruz, para realizar las simulaciones de las emisiones de amoníaco, ya que es el estado con mayor frecuencia de, sin embargo como era necesario obtener datos específicos de un lugar se decidió tomar el centro poblacional más grande y donde se manejara la sustancia de manera frecuente.
11. Los resultados obtenidos en las simulaciones proporcionaron un intervalo del radio de afectación y este es de vital importancia ya que minimizará el riesgo en la población en caso de alguna fuga accidental y en el caso de la distribución éste fue de 416 m a 498 m a la redonda, en la actividad de almacenamiento depende del tamaño de la fuga para fugas pequeñas fue de 725 a 768 m y para fugas grandes fue de 760 a 961.5 m a la redonda y en caso de un incidente en el transporte el radio de afectación fluctúa entre 751 a 960 m estos resultados concuerdan con los realizados por Kaiser (1999) quien realizó una comparación con varios programas de simulación entre ellos ALOHA.
12. Después de haber analizado los resultados de las simulaciones en cada sitio se propusieron medidas de seguridad y estas son similares a GRENA, 2000 aunque cabe mencionar que ésta última solo abarca la actividad de transporte, en cambio el presente trabajo incluye el almacenamiento y la distribución, también GRENA da medidas en general para cualquier sitio en Norteamérica y para sustancias similares al amoníaco, y éste trabajo particulariza los datos y por ende los resultados a sitios donde se maneja amoníaco en México.
13. Se propusieron algunas medidas adicionales para cualquier actividad, las cuales tienen como función prevenir los accidentes con amoníaco como son el mantenimiento de las instalaciones, así como de los autotanques para el transporte y la revisión de tuberías, capacitación a las personas que se ven directamente involucradas en el manejo de la sustancia entre otras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO 1

HOJA SE DATOS DE SEGURIDAD DEL AMONIACO

DATOS GENERALES DE LA EMPRESA

- 1.- Nombre de la empresa:
*Fabricante *Importador *usuario
*Distribuidor *Productor
- 2 - Domicilio completo:
- 3.- Teléfono de emergencia:

DESCRIPCIÓN DE LA SUSTANCIA

- 4.- Nombre de la sustancia: Amoniaco 5.- Sinónimo(s): Amoniaco anhidro, amonio
- 6.- Fórmula química: NH_3
- 7.- Familia química/ tipo: Nitrogenados/ Hidruro (Gas Alcalino), Base Inorgánica
- 8.- N° CAS: 7664-41-7
- 9.- N° ONU : 1005
- 10.- Nivel Máximo tolerable: 85 ppm
- 11.- Peso molecular : 17.032 g/mol
- 12.- Porcentaje de sus componentes: N (nitrógeno) 82.35%, H (hidrógeno) 17.64%
- 13.- Descripción: Gas incoloro más ligero que el aire y olor muy irritante

PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS

- 14.- Temperatura de ebullición: -33.4 °C
- 15.- Temperatura de inflamación: 650 °C
- 16.- Temperatura de fusión: -77.8 °C
- 17.- Temperatura de auto ignición: 650 °C
- 18.- Temperatura crítica: 132.4 °C
- 19.- Densidad relativa a 0 °C: 0.77 g/L
- 20.- Densidad de vapor: 0.597 a 0 °C
- 21.- Presión de vapor: a 45 °C 400 mmHg
- 22.- Presión crítica: 111.5 atm
- 23.- Gravedad específica: 0.62 a 15 °C, 1.209 a 20 °C
- 24.- Límites de inflamabilidad: Inferior: 15.5% ; superior: 25.27%
- 25.- Capacidad Calorífica: 4.60 J . g⁻¹ . K⁻¹
- 26.- Calor de fusión: 338.9 J . g⁻¹
- 27.- Calor de vaporización: 1366 J . g⁻¹
- 28.- Constante dieléctrica en el punto de ebullición: 22
- 29.- constante de disociación: 10^{-33} a -50 °C
- 30.- % de volatilidad: 100%
- 31.- Solubilidad en el agua Soluble, 51g/100g
- 32.- Viscosidad: 0.01327 CPS

REACTIVIDAD DE LA SUSTANCIA

- 33.- Reactividad en agua: Exotérmica
- 34.- Incompatibilidad: Cobre, plata, zinc, aleaciones como el bronce amarillo, gases oxidantes, cloro, bromo, hipoclorito de iodo mineral, halógenos, calcio y ácidos fuertes, mercurio, óxido de plata y compuestos explosivos enlatados
- 35.- Situaciones a evitar: Calor, llamas de fuego
- 36.- Productos de descomposición peligrosos: Se generan óxidos de nitrógeno por combustión. Temperaturas extremas (316 °C) pueden causar que el gas a produzca hidrogeno y nitrógeno, particularmente cuando están en contacto con metales.

RIESGOS

- 37.- Los posibles riesgos que se pueden presentar en una empresa o en la transportación de amoniaco son :
Fuego o explosión cuyos gases son irritantes, venenosos y/o corrosivos
Fuga o derrame

RIESGOS PARA LA SALUD

- 38.- Por exposición aguda
- a) - Inhalación : Provoca intoxicación de vías respiratorias
 - b) - Ingestión accidental Causa irritación severa al tracto
 - c) - Contacto con la piel: Puede causar congelamiento, quemaduras e irritación severa
 - d) - Absorción de la piel Causa quemaduras e irritación
 - e) - Contacto con los ojos Causa irritación y quemaduras en la cornea, lagrimeo y visión borrosa.
- 39.- Por exposición crónica: Depende del la concentración y duración. Contacto prolongado puede causar la muerte.

ACCIONES PARA MINIMIZAR DAÑOS

- 44.- En caso de fuga o derrame. Trate de contener los líquidos utilizados en la maniobra. Evacue al personal, use equipo de respiración autónoma, diluir con suficiente agua, no dejar que el agua circule por los drenajes pluviales, pues contaminará a los rios afectando la fauna marina por su alcalinidad, neutralice la fuga con agua en forma de nieblas , verifique explosividad y porcentaje de oxigeno en áreas confinadas, aleje al personal aproximadamente 1500mts a la redonda
- 45.- En caso de fuego o explosión. El contacto con oxidantes fuertes puede formar compuestos explosivos, la presencia de aceites u otros combustibles incrementan el riesgo de incendio
Aislar a la redonda 1600 mts aproximadamente al personal.

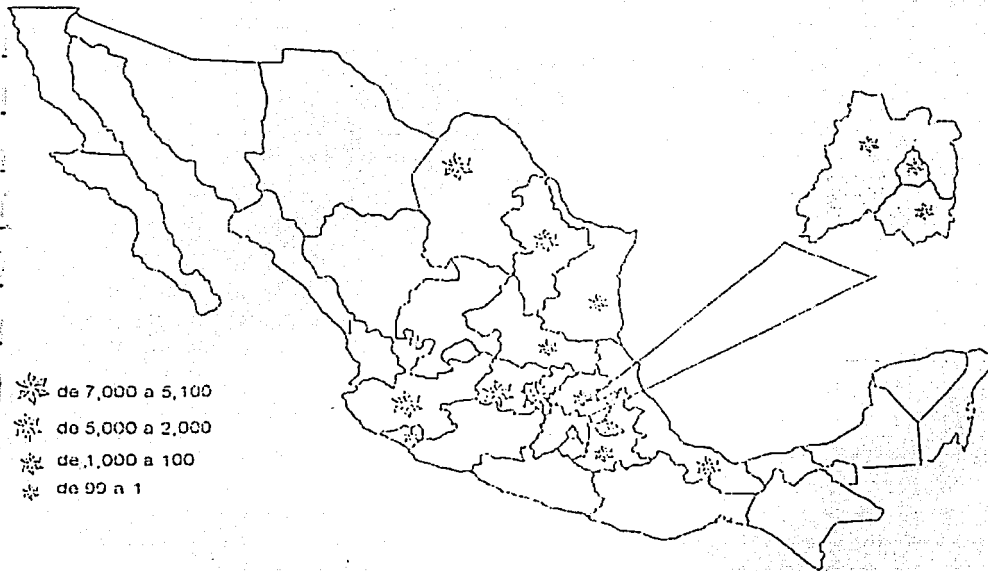
Esta hoja deberá estar en un lugar accesible para ser usada n caso de emergencia

Fuente: Programas para la prevención de accidentes (PPA) presentados ante el COAAPA, 1999.

ANEXO 2

MAPA DE LOS SITOS DONDE SE ALMACENA AMONIACO

Fuente: Arcos, 2000



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO 3

SIMULACIONES EN CONDICIONES CRÍTICAS EXTREMAS

SITE DATA INFORMATION:

Location: **COSOLOEACAQUE, VERACRUZ**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.31 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1204 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: **AMMONIA** Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.5 meters/sec from n at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: **F** Air Temperature: 15.57° C
Relative Humidity: 8% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 0 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Pipe Diameter: 10 inches Pipe Length: 1000 meters
Pipe Temperature: 20° C Pipe Press: 7.4 atmospheres
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 2 sq in
Unbroken end of the pipe is closed off
Release Duration: 28 minutes
Max Computed Release Rate: 88.3 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 73.3 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 230 kilograms

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 499 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 313 ppm
Indoor: 8.08 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SITE DATA INFORMATION:

Location: **VERACRUZ, VERACRUZ**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.34 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1127 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.5 meters/sec from ne at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: F (user override)
Air Temperature: 13.54° C
Relative Humidity: 5% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 0 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
Tank Diameter: 2 meters Tank Length: 11.53 meters
Tank Volume: 36,223 liters
Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 20,979 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 3 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: 41 minutes
Max Computed Release Rate: 312 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 310 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 11,049 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 1.5 kilometers

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 1,940 ppm
Indoor: 350 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.



ANEXOS

SITE DATA INFORMATION:

Location: **MONTERREY, NUEVO LEON**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.34 (sheltered double storied)
Time: May 21, 2002 1244 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.5 meters/sec from ene at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: F (user override)
Air Temperature: 2.17° C
Relative Humidity: 63% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 0 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in spherical tank
Tank Diameter: 1.39 meters
Tank Volume: 1,400 liters Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 0.89 tons
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 2 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: 3 minutes
Max Computed Release Rate: 130 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 129 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 291 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 676 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 588 ppm
Indoor: 10.4 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SITE DATA INFORMATION:

Location: **QUERETARO, QUERETARO**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.48 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1224 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.5 meters/sec from w at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: F (user override)
Air Temperature: 2.42° C
Relative Humidity: 50% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 0 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in spherical tank
Tank Diameter: 4.1 meters
Tank Volume: 36,087 liters
Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 23.0 tons
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 2 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Computed Release Rate: 141 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 141 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 8,416 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 949 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 891 ppm
Indoor: 277 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

SITE DATA INFORMATION:

Location: COATZACOALCOS, VERACRUZ
Building Air Exchanges Per Hour: 0.31 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1659 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 1.5 meters/sec from N at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: F (user override)
Air Temperature: 15.57° C
Relative Humidity: 8% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 0 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in spherical tank
Tank Diameter: 8.88 meters
Tank Volume: 367,110 liters
Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 234 tons
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 2 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Computed Release Rate: 142 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 142 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 8,513 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 975 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 900 ppm
Indoor: 143 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ESTADO DE VERACRUZ
SECRETARÍA DE ECONOMÍA

ANEXO 4
SIMULACIONES EN CONDICIONES CRÍTICAS FRECUENTES

SITE DATA INFORMATION:

Location: **COSOLOEACAQUE, VERACRUZ**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.54 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1209 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3 meters/sec from n at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: D (user override)
Air Temperature: 26.5° C
Relative Humidity: 10% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 5 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Pipe Diameter: 10 inches Pipe Length: 1000 meters
Pipe Temperature: 20° C Pipe Press: 7.4 atmospheres
Pipe Roughness: smooth Hole Area: 2 sq in
Unbroken end of the pipe is closed off
Release Duration: 28 minutes
Max Computed Release Rate: 88.3 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 73.3 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 230 kilograms

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 416 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 225 ppm
Indoor: 6.42 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

SITE DATA INFORMATION:

Location: **VERACRUZ, VERACRUZ**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.52 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1253 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3 meters/sec from ne at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: D Air Temperature: 25.14° C
Relative Humidity: 8% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 5 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in horizontal cylindrical tank
Tank Diameter: 2 meters Tank Length: 11.53 meters
Tank Volume: 36,223 liters
Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 20,979 kilograms
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 3 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: 41 minutes
Max Computed Release Rate: 312 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 310 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 11,049 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 1.1 kilometers

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 1,030 ppm
Indoor: 269 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SITE DATA INFORMATION:

Location: **MONTERREY, NUEVO LEON**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.31 (sheltered double storied)
Time: May 21, 2002 1247 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3 meters/sec from ene at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: D (user override)
Air Temperature: 24.76° C
Relative Humidity: 66% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 5 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in spherical tank
Tank Diameter: 1.39 meters
Tank Volume: 1,400 liters Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 0.89 tons
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 2 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: 3 minutes
Max Computed Release Rate: 130 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 129 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 291 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 720 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 531 ppm
Indoor: 6.52 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXOS

SITE DATA INFORMATION:

Location: **QUERETARO, QUERETARO**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.47 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1230 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3 meters/sec from w at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: D (user override)
Air Temperature: 19.24° C
Relative Humidity: 54% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 5 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in spherical tank
Tank Diameter: 4.1 meters
Tank Volume: 36,087 liters
Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 23.0 tons
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 2 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Computed Release Rate: 141 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 141 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 8,416 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 747 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 553 ppm
Indoor: 196 ppm
Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SIMULACIONES EN CONDICIONES FRECUENTES

SITE DATA INFORMATION:

Location: **COATZACOALCOS, VERACRUZ**
Building Air Exchanges Per Hour: 0.54 (sheltered single storied)
Time: May 21, 2002 1239 hours ST (using computer's clock)

CHEMICAL INFORMATION:

Chemical Name: AMMONIA Molecular Weight: 17.03 kg/kmol
TLV-TWA: 25 ppm IDLH: 300 ppm
Footprint Level of Concern: 300 ppm
Boiling Point: -33.43° C
Vapor Pressure at Ambient Temperature: greater than 1 atm
Ambient Saturation Concentration: 1,000,000 ppm or 100.0%

ATMOSPHERIC INFORMATION: (MANUAL INPUT OF DATA)

Wind: 3 meters/sec from n at 3 meters
No Inversion Height
Stability Class: D (user override)
Air Temperature: 26.5° C
Relative Humidity: 10% Ground Roughness: open country
Cloud Cover: 5 tenths

SOURCE STRENGTH INFORMATION:

Leak from short pipe or valve in spherical tank
Tank Diameter: 8.88 meters
Tank Volume: 367,110 liters
Tank contains liquid
Internal Temperature: -33° C
Chemical Mass in Tank: 234 tons
Tank is 85% full
Circular Opening Diameter: 2 inches
Opening is 90 centimeters from tank bottom
Release Duration: ALOHA limited the duration to 1 hour
Max Computed Release Rate: 142 kilograms/min
Max Average Sustained Release Rate: 142 kilograms/min
(averaged over a minute or more)
Total Amount Released: 8,514 kilograms
Note: The chemical escaped as a mixture of gas and aerosol (two phase flow).

FOOTPRINT INFORMATION: (HEAVY GAS SELECTED)

Model Run: Heavy Gas
User-specified LOC: equals IDLH (300 ppm)
Max Threat Zone for LOC: 773 meters

TIME DEPENDENT INFORMATION:

Concentration Estimates at the point:
Downwind: 500 meters
Off Centerline: 0 meters
Max Concentration:
Outdoor: 575 ppm
Indoor: 219 ppm

Note: Indoor graph is shown with a dotted line.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

REFERENCIAS

- ACARMEX/CENAPRED/SEGOB** (2000). Base de datos sobre accidentes carreteros.
- ACQUIM/CENAPRED/SEGOB** (2000). Base de datos de accidentes químicos en instalaciones industriales.
- AMMONIA** NH₃ Safety & Training Institute. <http://www.ammonia-safety.com/f-mod5%20physical.htm#specificvol> 06-02-02 18:54
- ANDREWS** H. Donald; **KOKES** J. Richard. "Química Fundamental". Editorial Limusa-Wiley. 1ª Edición. México 1964. Pp 652, 653, 668-670
- ARCOS** Serrano Ma. Esther. "Sustancias químicas que se manejan en grandes volúmenes de alto riesgo, por estado de la República Mexicana" CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres). Coordinación de Investigación. Área de Riesgos Químicos. RQ/006/2000. pp 4,9
- BABOR** A. Joseph; **Aznarez** I. José. "Química General Moderna". Editorial Marín. 6ª edición. España 1963. Pp 613-620
- BELTRÁN** M. Livia. "Evaluación de la peligrosidad en un parque industrial (caso de estudio: Ciudad Industrial del Valle de Cuernavaca, Morelos)". Tesis de Maestría. México, 1996. Pp-103
- BRESCIA** Frank; **Arents** John; **MEISLICH** Herbert; **TURK** Amos. "Fundamentos de Química". Editorial Continental. 1ª edición. México 1980. Pp 416, 436, 440
- CENTRO** Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED)/SEGOB (2000). Comunicación directa con el Área de Riesgos Químicos, coordinación de investigación.
- DOMENCH** Xavier. "Química Ambiental: El impacto ambiental de los residuos". Editorial Miraguano. 3ª edición. España 1997. Pp 32, 33
- DOW'S** Fire and Explosion Index, Hazard Classification Guide. Quinta edición. Ed. American Institute of Chemical Engineers, 1981.
- GUIA** de Respuesta a Emergencias en Norteamérica, Departamento de Transportación, 2000. Guía 125
- GEOFFREY** D. Kaiser, Joseph D. Price, and José Urdaneta: "Technical background document for offsite consequence analysis for anhydrous aqueous ammonia, chlorine, and sulfur dioxide" Chemical Emergency Preparedness and Prevention Office U.S. Environmental Protection Agency <http://www.epa.gov/swercpp/pubs/backup.pdf> 19-02-02; 14:15 P.M.
- <http://asmepressurevessels.com/ammonia/N250.jpg> 02-11-01/10: 26 P.M.

REFERENCIAS

- <http://dqcnsvp.inegi.gob.mx/BDINE/C10/C10/htm>
- http://www.airah.org.au/edu_ammemm.html 20-junio-2001 2:35 p.m.
- <http://search.osha-slc.gov/search97cgi/s97is.dll> 28-06-01 15:05
- <http://www.ammoniapro.com/Ammonia%20Library.htm> 06-02-02/19:35
- <http://www.ammoniapro.com/Chemical%20Plants.htm> 06-02-02/ 19:56
- <http://www.cdc.gov/niosh/pel88/7664-41.html> 28-06-01 15: 30
- <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0215.html> 28-06-01 15: 37
- <http://www.crossroads.nsc.org/searchresult2.cfm> 28-06-01 15: 10
- <http://www.crossroads.nsc.org/ChemicalTemplate.cfm?id=80&chempath=chemicals> 28-06-01 15: 20
- <http://www.cueyati.uam.mx/uam/publicaciones/boletines/abril98>
- <http://www.desertbrand.com/msds/aaspan.htm>
- <http://www.epa.gov/ceppo/pubs/aloha/183022-1.pdf> 20-junio-2001 1: 31 p.m.
- <http://www.epa.gov/swerecpp/rules/ammon.pdf>
- <http://www.epa.gov/EPA-TOX/1999/July/Dav-28/4070.htm> 28-06-2001 12:41
- <http://www.iiar.org/nh3links.htm> 28-06-01 15: 07
- <http://www.nfpa.org/query.asp> 28-06-01 15: 07
- <http://www.nh3tech.org/gloss.html> 28-06-01 14:53
- <http://www.patrocipes.uson.mx/patrocipes/invpec/ranchos/RA0015.htm>
- <http://www.profepa.gob.mx/saa/audita10.htm>
- <http://www.onu.org.mx/onu/multi/comun99/9967.htm>
- http://www.osha-slc.gov/OshStd_data/1910_0119.html 28-06-01 14:59
- http://www.osha-slc.gov/dts/hib/hib_data/hib19940228.html 06-02-02/20:17
- <http://www.tc.gc.ca/actsregs/rsa-lsf/rasal7.html#0.2.VF5B4I.Z2BFBE.09MIFD.O2>

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

<http://www.uat.mx/vinculos/planeta/cometa.htm>

INSTITUTO Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2000) "Estadísticas del Medio Ambiente, México 1999", elaborado conjuntamente con la Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca (Semarnap) ; el marco del Convenio de Colaboración firmado el 5 de julio de 1995.

KEENAN W. Charles; **KLEINFELTER C.** Donald; **WOOD H.** Jesse. "Química General Universitaria". Editorial Continental. 3ª edición. México 1992. Pp 779- 782

KIRK - OTHMELL. "Encyclopedia off Chemical Technology". 3ª edición. Vol. 2 , U.S. A. 1991, Pp. 639- 663

LEES F. P. "Loss prevention: Operability Studies and Hazard Analysis". Ed. Butterworth-Heinemann. Vol 1. Gran Bretaña 1980.

MASTERTON L. Williams; **SLOWINSKI J.** Emil. "Química General Superior". Editorial Mc-GrawHill. 6ª edición. México 1989. Pp 480-482

MONTES DE OCA Victor. Miembro del Comité Científico Asesor de Fenómenos Perturbadores de Origen Químico del Sistema Nacional de Protección Civil. Comunicación personal. México, 2002

NEGRON V. Pablo "Modelos Matemáticos de Contaminación Ambiental".UPR - Humacao <http://culhwww.upr.clu.edu/~pnm/presentations/contaminacion/index.htm> 11-07-01; 12:37

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "The sources chemistry, fate and effects of ammonia in aquatic enviroments"; American Petroleum Institute(API); U.S.A. 1981; pp 51-78

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "Petroquímica Internacional- Amoniaco"; Subdirección de Planeación y Coordinación(SPC); Noviembre, 1984; pp i-vii, 1-3

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "Complejo Petroquímico de Cosoleacaque" Subdirección de Transformación Industrial(STI); Enero, 1985; pp13-15

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "Amoniaco"; Subdirección Comercial y Coordinación de Mercadotecnia y Planeación Comercial(SCCMP); Julio, 1985; pp 1-5

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "Memorias de Labores. 1992. Fuente: ANIQ (Asociación nacional de la Industria Química) .Directorio de la Industria Química Mexicana, 2000 PP 40,81, 170,171,182, 198, 288

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "Memorias de Labores. 1999, <http://www.pemex.com/memo99.html> 30-04-01 10:20 A.M.

PEMEX (Petróleos Mexicanos); "Anuario Estadístico, 2000", Indicadores Petroleros.
http://www.pemex.com/estadis_2000.html 30-04-01 11:29 A.M.

SECRETARÍA de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca SEMARNAP (Cambió a SEMARNAT). "Promoción de la prevención de accidentes químicos". Publicado por INE/SEMARNAP. Diciembre 1999. Pp. 52-53, 60-61, 63, 65

TITLE 40-Protection of Environment CHAPTER I—"Environmental protection agency part 68-chemical accident prevention provisions"
http://www.access.gpo.gov/nara/cfr/cfrhtml_00/Title_40/40cfr68_00.html 02/03/02 - 22:47

TURNER B. " Workbook of atmospheric dispersion estimates" Ed. Health Service Publication No. 999-AP-26. USA 1970.

VELÁZQUEZ Nelson. "Manual de productos para la nutrición vegetal de fértil el salvador". Velazquezcorreo@fertica.com.

ZANNETTI Paolo. " Air pollution modeling theories, computational methods and available software". Ed. Van Nostrand Reinhold. USA 1990. 28-30,111-123, 143-157.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN