

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



“ANÁLISIS DE RIESGO POR FUGA DE AMONÍACO EN TANQUE DE ALMACENAMIENTO EMPLEANDO MODELO COMPUTACIONAL”

P O R

LUIS ANTONIO CRUZ VALVIDIA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

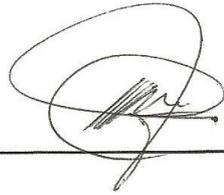
Torreón, Coahuila

Abril de 2013

**TESIS QUE SE SOMETE A CONSIDERACION DEL H. JURADO
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

APROBADA POR:

**ING. JOEL LIMONES AVITIA
PRESIDENTE DEL JURADO**



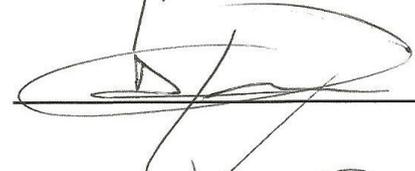
**MC. NORMA LETICIA ORTIZ GUERRERO
VOCAL**



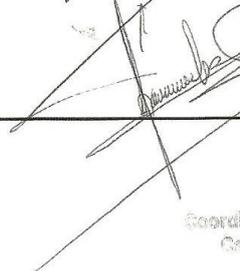
**MC. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ
VOCAL**



**DR. ALFREDO OGAZ
VOCAL SUPLENTE**



**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**





Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

ABRIL DE 2013

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**ANÁLISIS DE RIESGO POR FUGA DE AMONIACO EN TANQUE DE
ALMACENAMIENTO EMPLEANDO MODELO COMPUTACIONAL**

**TESIS QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

POR:

LUIS ANTONIO CRUZ VALDIVIA

APROBADA POR EL H. CUERPO DE ASESORES

**ING. JOEL LIMONES AVITIA
ASESOR PRINCIPAL**

**MC. NORMA LETICIA ORTIZ GUERRERO
ASESOR**

**MC. JOSÉ LUIS RÍOS GONZÁLEZ
ASESOR**

**DR. ALFREDO OGAZ
ASESOR SUPLENTE**

**DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas**

TORREÓN, COAHUILA

ABRIL DE 2013

AGRADECIMIENTOS:

A Dios, por darme la inteligencia y sabiduría de poder salir adelante en mis estudios universitarios, por iluminar mi camino y permitirme la vida.

A mis padres, quienes han sido de apoyo durante la carrera, y por quienes también encuentro aliento para seguir adelante en la vida.

Al Ing. Joel Limones Avitia, por la asesoría en la elaboración de esta tesis, y por la amistad que siempre me brinda.

A MI ALMA TERRA MATER, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de desarrollar mi educación académica.

DEDICATORIAS:

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio.

A mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo.

A mis hermanos, porque con ellos me gozo en compartir mis propósitos.

*A mi esposa **ALICIA IVONNE RODRIGUEZ LOPEZ**, desde un principio siempre me brindo su apoyo y amor.*

A quienes quisieron ver a un amigo y no solo un compañero durante los años que compartimos las aulas de la universidad.

*A la familia **RODRIGUEZ LOPEZ**, que ha sido también de apoyo moral y que sobre todo estoy seguro el sentimiento es mutuo y se alegraran conmigo.*

INDICE

	Página
AGRADECIMIENTOS:	i
DEDICATORIAS:	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
3.1. Objetivo general.....	4
3.2. Objetivo específico.....	4
IV. REVISION DE LITERATURA	5
4.1. Fuga de amoniaco.....	5
4.2. Amoniaco.....	6
4.2.1. Propiedades físicas.....	6
4.2.2. Propiedades químicas.....	7
4.2.3. Incompatibilidades.....	9
4.2.4. Producción.....	9
4.2.5. Aplicaciones y usos.....	10
4.3. Efectos sobre la salud.....	11
4.3.1. Efectos sistémicos.....	16
4.4. Niveles permisibles de exposición ocupacional.....	17
4.5. Comportamiento en el ambiente.....	18
4.5.1. Suelo.....	19

4.5.2. Aire.....	19
4.5.3. Agua.....	20
4.6. Análisis de riesgo.....	21
4.6.1. Marco legal.....	21
4.6.2. Definición de riesgo.....	22
4.6.3. Peligro.....	22
4.6.4. Exposición.....	22
4.6.5. Tipos de riesgo.....	23
4.7. Evaluación de riesgos.....	23
4.7.1. Tipos de evaluación de riesgos.....	23
4.7.2. Métodos de evaluación de riesgos.....	23
4.8. Explosiones de nubes de gas o vapor.....	25
4.8.1. Descripción de las nubes.....	25
4.8.2. El estallido del recipiente.....	25
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
5.1. Metodología.....	27
CUADRO 1. Características del tanque de almacenamiento.....	27
5.2. Añadiendo el sitio a la lista de lugares de ALOHA.....	28
5.3. Ajustando Fecha y hora.....	30
5.4. Incorporación de datos en Aloha.....	30
5.4.1. Menú de sustancias químicas.....	31
5.4.2. Menú atmosférico.....	32
5.5. Incorporando la información sobre condiciones climáticas manualmente.....	32
5.6. Fuente de tanque para “gases” (Figura 5).....	33
VI. RESULTADOS.....	40
6.1. Área de afectación por fuga de amoníaco, según modelo obtenido en el programa ALOHA 2007 en la primera simulación (Anexo 1).....	40
6.1.1. Descarga de la fuga de amoníaco por unidad de tiempo obtenido en el simulador ALOHA (Anexo 1).....	42
6.1.2. Punto de amenaza y concentración dentro y fuera de un edificio a considerar cuya ubicación a la coordenada establecida (Anexo 1).....	43

6.2. Área de afectación por fuga de amoniaco, según modelo obtenido en el programa ALOHA 2007 en la segunda simulación (Anexo 2)	44
6.2.1 Descarga de la fuga de amoniaco por unidad de tiempo obtenida en el simulador ALOHA (Anexo 2)	46
6.2.2 Punto de amenaza y concentración dentro y fuera de un edificio a considerar cuya ubicación a la coordenada establecida en la segunda simulación de sucesos (Anexo 2).....	47
6.3. Área de afectación por fuga de amoniaco, según modelo obtenido en el programa ALOHA 2007 en la tercera simulación (Anexo 3).....	48
6.3.1 Descarga de la fuga de amoniaco por unidad de tiempo obtenida en el simulador ALOHA (Anexo 3)	50
6.3.2 Punto de amenaza y concentración dentro y fuera de un edificio a considerar cuya ubicación a la coordenada establecida en la tercera simulación de sucesos (Anexo 3).....	51
VII. CONCLUSIONES	52
VIII. RECOMENDACIONES.....	53
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	54
X. ANEXOS.....	60
XI. GLOSARIO.....	67

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Características del tanque de almacenamiento	27
2	Parámetros ambientales introducidos en el programa ALOHA para medir el riesgo por fuga de amoniaco, para un ambiente urbano con estabilidad D en la primera simulación	41
3	Parámetros ambientales introducidos en el simulador ALOHA para medir el riesgo por fuga de amoniaco, para un ambiente urbano con estabilidad D en la segunda simulación	45
4	Parámetros ambientales introducidos en el programa ALOHA para medir el riesgo por fuga de amoniaco, para un ambiente urbano con estabilidad D en la tercera simulación	49

INDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1 Ventana para coordenadas o ubicación de sitios ALOHA	29
2 Ventana de listado a lugares para seleccionar en este caso ANAHUAC, NUEVO LEÓN	29
3 Biblioteca de las sustancias químicas peligrosas	30
4 Ventana para la incorporación de las condiciones climáticas, en el simulador ALOHA	32
5 Menú de selección para el tipo de tanque	33
6 Incorporación de los datos del tanque de almacenamiento	33
7 Selección de características y temperatura del contenido almacenada en el tanque	34
8 Nivel de concentración en el tanque de almacenamiento	35
9 Ventana de selección el tipo de evento que causa la sustancia	35
10 Tipo y tamaño de la abertura	36
11 Localización de la abertura del tanque de almacenamiento	36
12 Selección de (threat zone) para el inicio de la simulación	37
13 Selección del tipo de riesgo a analizar	37
14 Ventana en donde se establecen la concentración y zonas de riesgo causada por la fuga de amoniaco	38
15 Menú de inicio para la selección de (source strength)	38
16 Localización específica del punto de amenaza	39
17 Definición de la zona de amenaza y área de afectación primera evaluación	41
18 Cantidad de Kilogramos fugados de amoniaco por unidad de tiempo equivalente a 60 minutos en la primera evaluación	42

19 Variación de la concentración del amoniaco en periodo de 60 minutos dentro y fuera de un edificio en la primera evaluación	43
20 Definición de las zonas de amenaza y área de afectación segunda evaluación	45
21 Cantidad de kilogramos fugados de amoniaco por unidad de tiempo equivalente a 60 minutos en la segunda evaluación	46
22 Variación de la concentración del amoniaco en periodo de 60 minutos dentro y fuera de un edificio en la segunda evaluación	47
23 Definición de la zona de amenaza y área de afectación.....	49
24 Cantidad de Kilogramos de amoniaco fugado del tanque en la tercera evaluación	50
25 Variación de la concentración del amoniaco en periodo de 60 minutos dentro y fuera de un edificio en la tercera evaluación	51

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue la determinar mediante el empleo de un modelo computacional el grado y área de afectación que implica la fuga de amoniaco en un tanque de almacenamiento, mediante la aplicación de un simulador de eventos (ALOHA, 2007), utilizando los datos estadísticos del centro meteorológico de la ciudad de Monterrey Nuevo León (CONAGUA, 2012) y las respectivas características del contenedor de la sustancia química. Según los resultados de las simulaciones realizadas, se obtuvieron diferentes reacciones con respecto a las condiciones atmosféricas dando resultado que el simulador opera de manera eficiente. Para obtener un mejor resultado se realizaron tres simulaciones tomando en cuenta la velocidad del viento (V m/s), la temperatura ($^{\circ}C$), la humedad relativa (HR %), la estabilidad atmosférica, las coordenadas geográficas de localización y la cantidad de la sustancia química almacenada. Al aplicar estos parámetros en las simulaciones se pudo observar que en condiciones atmosféricas estables, el gas de amoniaco abarca un área mayor, mientras que en condiciones inestables la dispersión es favorable y el área que abarca es menor presentando un mínimo riesgo.

Palabras claves: Aloha, Análisis, Cameo, Riesgo, Simulación.

I. INTRODUCCIÓN

Existen infinidad de sustancias químicas en el planeta, dentro de las cuales están las sustancias peligrosas que se caracterizan por sus riesgos potenciales a la salud y al medio ambiente. Estas sustancias están reguladas por convenios internacionales y normas oficiales mexicanas las cuales indican su manejo adecuado para reducir los riesgos ambientales y a la salud humana. Por lo cual es importante la búsqueda de métodos para la reducción de las consecuencias que estas sustancias pueden causar en la sociedad en la que vivimos, dada la gama de efectos adversos potenciales, algunos países tales como los Estados Unidos, y diversos países europeos han decidido implementar mecanismos de control químico que incluye tanto de observancia obligatoria como medidas voluntarias (Yarto, 2003). La cantidad así como las características físico-químicas de las sustancias involucradas en actividades industriales o de servicios y en el transporte de las mismas, constituyen los factores de mayor importancia para la definición de su grado de riesgo, Por lo cual se han constituido listados de sustancias peligrosas reguladas (tóxicas o explosivas e inflamables) (INE, 2007).

Para la identificación y la evaluación de los riesgos naturales y tecnológicos deben constituirse documentos básicos en la ordenación del territorio (Aguirre, 2005). Uno de los conceptos principales de la administración del riesgo de las sustancias peligrosas, es la imposibilidad de reducir los riesgos a cero, confirma lo anterior el hecho de que no existe una universalidad en la metodología para la evaluación del riesgo ambiental; es decir, no existe un método general que resulte el más propicio para ser aplicado a la mayoría de los proyectos, debido a varios factores, tales como: la amplia gama de sustancias peligrosas, el manejo de las mismas. Los procesos, la ubicación de las instalaciones, los factores, los factores humanos, entre otros. Dichos factores hacen tan diversas las características de un proyecto que impide establecer un esquema de metodología única, por lo que para identificar, evaluar y jerarquizar los riesgos de forma íntegra, se sugiere implementar métodos cualitativos y cuantitativos, la aplicación de modelos matemáticos de simulación de riesgos (SEMARNAT, 2002). Por otra parte en las normas oficiales mexicanas y los organismos internacionales (EPA Y OSHA), han

publicado listados de sustancias peligrosas, con la finalidad de identificarlas y tener un mejor manejo de estas.

Una de las sustancias que ha provocado daños en la salud humana es el amoníaco (ATSDR 2002). Debido a los constantes accidentes por fuga en algunos casos con víctimas mortales. El presente trabajo de investigación está enfocado en la evaluación de riesgos ambientales por la fuga de amoníaco. Es necesario realizar un análisis de utilización de los métodos adecuados y modelo computacional necesario que permita determinar el grado y área de afectación.

II. JUSTIFICACIÓN

Por la importancia que las sustancias peligrosas tienen en la sociedad, es necesario determinar los riesgos que representan al medio ambiente. Motivo, al igual que otras sustancias el amoniaco es un importante producto químico de uso industrial. La inhalación y el contacto accidental puede causar lesiones graves en las vías aéreas superiores e inferiores y en la piel, llegando incluso a poner en peligro la vida (Aguirre, 2005). El desarrollo industrial y el creciente aumento demográfico en México, han contribuido a que tanto la producción de sustancias químicas como el uso masivo de ellas esto representen un riesgo serio para la salud de la población y la integridad del ambiente. El manejo de este riesgo implica el mantenimiento de sistemas de producción almacenamiento, transporte, transformación y disposición final dentro de límites deseados debido a esto es necesario realizar un análisis de riesgos en los proyectos tecnológicos que impliquen el manejo de sustancias peligrosas además de cumplimiento con la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente estipulado en el capítulo V referente a las actividades consideradas como altamente peligrosas de(LGEEPA, 2011), así como también respecta la Secretaria de Trabajo y Previsión Social(STPS, 1999). La LGEEPA (2011) en sus artículos 145, 146 y 147 refiere a quienes realicen actividades altamente riesgosas obliga a presentar un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de la secretaria de medio ambiente y recursos naturales (SEMARNAT) y la secretaria de gobernación, de energía, de comercio y de fomento industrial, de salud y de trabajo y previsión social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades que puedan causar graves desequilibrios ecológicos. Dentro de la LGEEPA (2011), el artículo 148 que trata sobre zonas de salvaguarda tiene gran importancia ya que determina hasta donde debe llegar la zona de riesgo, mientras que el artículo 149 obliga al estado regular la realización de actividades altamente riesgosas.

III. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Determinar mediante el empleo de modelos computacionales el grado y área de afectación que implica la fuga o derrame de amoniaco anhidro en un tanque de almacenamiento.

3.2. Objetivo especifico

Determinar el riesgo ocasionado por una fuga o derrame de amoniaco anhidro en tanque de contención utilizando el software denominado Aloha.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1. Fuga de amoniaco.

Una fuga de amoniaco durante una maniobra equivocada de un carro tanque obligó la evacuación de unas 600 personas del sector sur de Hermosillo, Sonora. De acuerdo a los reportes, los hechos ocurrieron al filo de las 21:20 horas pero fue una hora después cuando las agencias de seguridad accionaron el plan de emergencia.

En la zona sur de Hermosillo densamente poblada el ambiente se impregnó del químico el cual logró afectar a unas 30 personas que fueran remitidas a diferentes hospitales de la capital.

A la medianoche a bordo de patrullas y vehículos particulares se inició la evacuación de personas ubicadas en las colonias Altares, Las Lomas, Nuevo Hermosillo y trabajadores nocturnos del Parque Industrial.

Vecinos de la zona reportaron después de varias horas, que aún se sentía el olor al químico esparcido en un amplio radio del sitio del accidente se percibía fuertemente.

Los hechos devinieron luego de que una pipa procedente del puerto de Topolobampo realizaba la maniobra de reenganche en un patio industrial ubicado en una zona densamente poblado.

Las autoridades informaron que en una maniobra errónea la pipa volcó y de inmediato inició la fuga del químico el cual, bajo exposición directa resulta ser mortal (Gaxiola, 2012).

Una fuga de amoniaco alertó a los trabajadores de la fábrica de helados D'Onofrio ubicada en el Cercado de Lima; Perú, quienes tuvieron que evacuar su centro de labores pues muchos de ellos empezaron a sentir náuseas y dolores de cabeza. La fuga también afectó a la fábrica Graff. Según los trabajadores, el amoniaco es utilizado para el congelamiento de los helados que se producen en los sótanos de la fábrica. La mala manipulación de una válvula habría causado el exceso del gas que tuvo que ser expulsado por las chimeneas (Bolaños, 2012).

4.2. Amoniac

Sustancia química producida tanto por los seres humanos como la naturaleza. Consiste en una parte de nitrógeno (N) y tres partes de hidrogeno (H₃). El amoniaco es un gas incoloro de olor muy penetrante (Ibarreen, 2001). También se conoce como amoniaco gaseoso o amoniaco anhidro ("sin agua"). El amoniaco gaseoso puede ser comprimido y bajo presión puede transformarse en un líquido.

4.2.1. Propiedades físicas

Estado físico Gas; puro

Líquido; solución

Peso Molecular (g/mol) 17,03

Punto de Ebullición (°C) (760 mmHg) -33,35

Punto de Fusión (°C) -77,7

Presión de Vapor (mmHg) 6080 (20 °C anhidro) 447 (20 °C aq al 28%)

Gravedad Específica (Agua = 1) 0,6818 (Líquido a -33,35 °C)

Densidad del Vapor (Aire = 1) 0,59

Velocidad de Evaporación (Acetato de Butilo = 1) No disponible

Constante de la Ley de Henry (atm*m³/mol) 1,6X10⁻⁵; 25 °C

Solubilidad en Agua (g/ml) 0 °C 895 g/litro

20 °C 529 g/litro

40 °C 316 g/litro

60 °C 168 g/litro

Límites de Inflamabilidad (% vol) 16% - 25%

Temperatura de Auto ignición (°C) 650

Punto de Inflamación (°C) No disponible

pH 11,6; solución acuosa 1N(EPA, 1985; ATSDR, 2002; ATSDR, 2004).

4.2.2. Propiedades químicas

El Amoniac se disocia parcialmente en el agua formando soluciones básicas de acuerdo al siguiente equilibrio:



La constante de disociación del Amoniac, K_b , es 1.774×10^{-5} a 25°C ($\text{p}K_b$ es 4.751) y se incrementa sensiblemente con el incremento en la temperatura (12), a pH 9,25 la mitad del Amoniac estará en estado anhídrico (NH_3) y la mitad estará en forma de Ión Amonio (NH_4^+), a pH 8,25 y 7,25, 90, y 99% del Amoniac estará ionizado, respectivamente. Como resultado, muchas propiedades físicas y químicas del Amoniac serán función del pH (EPA, 1991). Por ejemplo, la solubilidad del Amoniac en agua se incrementa con la disminución en el pH . La volatilidad del Amoniac se incrementa con el incremento en el pH ; de esta forma, esta sustancia se volatilizará libremente de sus soluciones con agua a pH altos (ATSDR, 2002).

Las sales de Amonio como el cloruro, nitrato y sulfato se disocian y solubilizan fuertemente en el agua y por eso los cambios en el pH no generarán normalmente la formación de precipitados de Amonio.

El Amoniac gaseoso se adsorbe fácilmente en ciertos sólidos. Las características de adsorción del Amoniac en ciertas superficies metálicas son importantes en su síntesis y en otras reacciones catalíticas (OMS, 1986).

Los productos de combustión son principalmente Nitrógeno y agua, pero también se forman pequeñas trazas de nitrato de Amonio (NH_4NO_3) y Dióxido de Nitrógeno.

Otra reacción importante que involucra la oxidación del Amoniac es su oxidación catalítica a Oxido Nítrico (NO) y Oxido nitroso (N_2O). Esta reacción es un paso importante en la manufactura del Acido Nítrico.

Bajo condiciones atmosféricas normales, el Amoniac no sufre ninguna reacción fotoquímica primaria a longitudes de onda mayores de 290 nm. Cuando se expone a radicales u otras especies fotoquímicamente excitadas, el Amoniac sufre descomposición secundaria (ATSDR, 2002; OMS, 1986):



Algunas de estas reacciones pueden ser muy importantes en el balance de Nitrógeno atmosférico.

El Amoníaco también sufre descomposición a Nitrógeno e Hidrógeno cuando se expone a descargas eléctricas.

Reacciona con Azufre para formar sulfato de Amonio en la atmósfera (ATSDR, 2004).

El Amoníaco acuoso puede tomar parte en reacciones de sustitución con haluros orgánicos, sulfonatos, compuestos hidroxílicos y nitrosos y en la presencia de catalizadores metálicos, se usa para producir aminoácidos a partir de quetoácidos. El Amoníaco reacciona con el Ácido hipocloroso (HOCl) para formar monocloramina, dicloramina o tricloruro de Nitrógeno. La formación de estas cloraminas depende del pH, la concentración relativa del Ácido hipocloroso y el NH_3 , el tiempo de reacción y la temperatura. La presencia de estas cloraminas puede contribuir al olor y sabor del agua potable y puede estar asociado con problemas de la salud (ASTDR, 2004; OMS, 1986).

El Amoníaco interviene en numerosas reacciones industrialmente importantes con compuestos orgánicos. La reacción con haluros de alquilo o con alcoholes se usa en la producción de aminas e iminas. Con haluros orgánicos Ácidos la reacción genera amidas ácidas con subproducto cloruro de Hidrógeno. De la misma manera, las amidas ácidas resultan de la acilación del Amoníaco con ésteres Ácidos, Anhídridos Ácidos o incluso Ácidos a temperaturas arriba de $100\text{ }^\circ\text{C}$. La adición de Amoníaco a aldehídos y cetonas con liberación de agua lleva a compuestos intermedios amínicos inestables. Con Óxidos de Etileno y Propileno, el Amoníaco acuoso reacciona para dar etanolamina o propanlamina. Por reacción de olefinas con el Amoníaco se pueden obtener alquilaminas.

La oxidación catalítica en fase gaseosa de olefinas en presencia de Amoníaco sobre catalizadores de vanadio o de Amoníaco genera nitrilos Ácidos de alta importancia comercial (OSHA, 1978; EPA, 1991).

4.2.3. Incompatibilidades

El Amoniacó reacciona violentamente con oxidantes fuertes, Ácidos, halógenos y sales de plata, zinc, cobre y otros metales pesados. Es corrosivo para superficies galvanizadas y de cobre. La adición de agua sobre el Amoniacó Anhidro genera gran desprendimiento de calor y existe el peligro de provocar salpicaduras cáusticas al personal que se encuentre en las cercanías (OIT, 1991).

Dentro de sus incompatibilidades se encuentran la plata y las sales de oro, los halógenos, metales alcalinos, el tricloruro de Nitrógeno, el clorato de potasio, cloruro de cromo, haluros de oxígeno, vapores ácidos, óxido de Etileno, Acido pícrico y otros químicos (EPA, 1985).

Aunque se ha visto que esta es una sustancia de gran cuidado, el Amoniacó puede tener efectos benéficos cuando se usa por ejemplo en sales de Amonio para oler (OIT, 1991).

4.2.4. Producción

El método principal de producción de Amoniacó Anhidro es el proceso de Haber-Bosh modificado, que constituye la forma de producción del 90% del Amoniacó mundial. En este proceso, el Nitrógeno (obtenido de la atmósfera) y el hidrógeno (a partir del gas natural) se mezclan en una proporción de 1:3 y pasan sobre un catalizador a alta presión. El Amoniacó así producido se colecta por diferentes métodos y los reactivos que no reaccionaron se recirculan al reactor. Pequeñas cantidades de Amoniacó se producen industrialmente como subproducto de la coquización del carbón. La mayor proporción de producción industrial de Amoniacó ocurre en áreas donde el gas natural es barato y abundante ya que el Amoniacó se sintetiza usando este medio (Elvers et al., 1989; OMS, 1986).

El proceso completo de producción de Amoniacó puede subdividirse en las siguientes operaciones:

- ❖ Preparación del gas de síntesis
- ❖ Producción de gas
- ❖ Conversión de Monóxido de Carbono
- ❖ Purificación del gas
- ❖ Compresión
- ❖ Síntesis
- ❖ Recuperación de Hidrógeno del gas de purga

4.2.5. Aplicaciones y usos

La mayoría del Amoníaco producido se usa con fines agrícolas, ya sea por aplicación directa o como intermediario en la producción de fertilizantes. El Amoníaco y los compuestos de Amonio usados en fertilizantes representan cerca del 89% del Amoníaco producido comercialmente. El uso directo del Amoníaco puede caer en las siguientes categorías: Amoníaco Anhidro 30%, soluciones de urea/nitrato de Amonio 24%, urea 17,5%, nitrato de Amonio 5%, sulfato de Amonio 2% y otras formas 21,5%. Muchos compuestos de Amonio y Acido Nítrico se usan directamente en la producción de fertilizantes (ASTDR, 2002; OMS, 1986).

Las proporciones pequeñas de Amoníaco producido no incorporado en fertilizantes se usan como inhibidor de corrosión, en la purificación de fuentes de agua, como componente de limpiadores domésticos y en la industria de refrigerantes.

Se usa en las industrias de pulpa de papel, de la metalurgia, del caucho, de comidas y bebidas, de los textiles, de productos farmacéuticos y en las industrias del cuero (ASTDR, 2004).

4.3. Efectos sobre la salud

Frases de Riesgo

Amoniacó Anhidro

R10: Inflamable

R23: Tóxico por inhalación

R34: Provoca quemaduras

R50: Muy tóxico para los organismos acuáticos Solución de Amoniacó

Concentración Mayor a 25%

R34: Provoca quemaduras

R50: Muy tóxico para los organismos acuáticos

Solución de Amoniacó Concentración entre 5% y 10%

R36/37/38: Irrita los ojos, la piel y las vías respiratorias (ATSDR, 2004; OMS, 1986).

Siempre se debe tener en cuenta que todas las personas se encuentran expuestas a pequeñas cantidades de Amoniacó en la vida diaria, pero este nivel no afecta en mayor grado ni la salud humana ni la estabilidad del medio ambiente. Posee un olor tan irritante que las personas pueden detectarlo antes que pueda causar daños graves (ATSDR, 2002; ATSDR, 2004).

El Amoniacó es una sustancia altamente irritante para las mucosas. En forma líquida causa quemaduras en la piel y los ojos al contacto. Es también una sustancia venenosa y puede ser fatal por inhalación en grandes cantidades. Todos los síntomas pueden tener efecto retardado. No se ha clasificado esta sustancia como generadora de cáncer pero en presencia de otros químicos puede promover la generación de algunos tipos de cáncer (OMS, 1986).

Por lo general respirar Amoniacó en concentraciones altas pero no letales puede causar laringitis, dificultad para respirar, sensación de ahogo y dolor en el pecho. También a partir de la inhalación puede generarse edema pulmonar y neumonía (ATSDR, 2004).

Por respiración de Amoniaco en áreas de concentraciones altas, el Amoniaco puede generar segregación de flemas espumosas de color rosado, convulsiones y coma (Bataller, 2004).

El contacto con los ojos produce irritación, dolor, conjuntivitis (ojos rojos e inflamados), lagrimación y erosión corneal. También es posible la pérdida de la visión en situaciones extremas de concentración o en salpicaduras de soluciones acuosas concentradas o gas licuado.

Los contenedores de Amoniaco Anhidro pueden explotar con generación de llama por acción de fuego o calor.

- **Inhalación:** La exposición por inhalación a altos niveles de Amoniaco se puede presentar a causa de fugas o derrames en plantas de producción y procesamiento, instalaciones de almacenamiento, tuberías de transporte, camiones tanque y barcos de transporte. Exposición moderada se puede presentar en el momento de aplicación de fertilizantes en campos de cultivo. Exposiciones bajas se presentan cuando se realizan labores de limpieza con productos que contienen soluciones de Amoniaco (OMS, 1986).

El Amoniaco posee un olor muy fuerte y se puede detectar en concentraciones de hasta 50 ppm en el aire, a partir de las cuales se siente fuerte irritación del tracto respiratorio superior; aunque el nivel de tolerancia de los individuos expuestos continuamente a esta sustancia puede aumentar y no presentarse estos efectos hasta concentraciones un poco más altas. Su alto olor a concentraciones no nocivas hace que su detección sea rápida y da una alarma previa a concentraciones atmosféricas que puedan llegar a ser nocivas (OSHA, 1978).

El Amoniaco Anhidro es más liviano que el aire y por eso tiende a subir en la atmósfera pero los vapores del Amoniaco líquido son inicialmente más pesados y se pueden extender a todo lo ancho del suelo, de tal forma que se pueden producir casos de asfixia y efectos de inhalación en lugares cerrados o pobremente ventilados (ATSDR, 2003).

Los niños expuestos a iguales niveles de Amoniaco pueden resultar más afectados que los adultos a causa de su alta relación de superficie pulmonar y corporal y de su alto metabolismo representado por respiración más frecuente (OMS, 1986).

Inicialmente el Amoniaco que se respira del aire se disuelve totalmente en las mucosas, pero de la totalidad del Amoniaco que ingresa, cerca del 80% es devuelto de nuevo a la atmósfera por esta misma ruta. El Amoniaco inhalado puede ingresar directamente a las vías circulatorias. El Amoniaco adsorbido se excreta a través de los riñones en la orina como urea y por el sudor en forma de compuestos de Amonio (ATSDR, 2002).

La extensión del daño causado por respiración del Amoniaco depende de la duración de la exposición, la concentración del gas y la profundidad de la inhalación (ATSDR, 2003).

La exposición a 250 ppm es soportable para muchas personas hasta por una hora. Las exposiciones a aerosoles concentrados de Amonio o sales de Amonio (>500 ppm) resultan en quemaduras nasofaríngeas y de la tráquea, obstrucción de las vías de aire, acumulación de fluido en los pulmones, afección respiratoria y edema bronquial y alveolar. Exposiciones a concentraciones de 2500 a 4500 ppm son fatales en un periodo de 30 minutos; concentraciones de entre 5000 y 10000 ppm son letales de forma inmediata. Las muertes inmediatas por exposiciones elevadas se deben a obstrucción de las vías de aire mientras que la mortalidad retardada a estas concentraciones obedece a infecciones y complicaciones secundarias (ATSDR, 2004).

- **Contacto piel / ojos:** La exposición a niveles nocivos de Amoniaco se puede generar por las mismas razones que para la inhalación. Además, se puede dar por contacto con fuentes de agua contaminada o manipulación poco segura de esta sustancia (OMS, 1986).

Otra forma de contacto consiste en la manipulación inadecuada de productos de limpieza amoniacales tanto industriales como domésticos, los que pueden contener hasta 25% de Amoniac. La exposición dérmica al Amoniac en cualquiera de sus formas es muy frecuente en el área laboral y por lo común genera quemaduras e irritaciones de muy diversos grados (ATSDR, 2003).

Una pequeña cantidad de Amoniac o de solución de Amonio concentrada en contacto con la piel causa de forma inmediata quemaduras y llagas abiertas si no se lava rápidamente. Las quemaduras pueden llegar a ser tan graves como para requerir injertos de piel a causa de la pérdida de capas cutáneas. Las heridas mal tratadas generadas por el contacto con Amoniac pueden dar lugar a infecciones serias en el mediano plazo. En los ojos, por contacto con Amoniac (concentraciones en el aire arriba de 100 ppm dependiendo el individuo) o soluciones de él, además de quemaduras puede producirse lacrimación, hinchazón de los párpados, abrasión de la córnea, visión borrosa y en casos graves, ceguera permanente (ATSDR, 2004).

Por contacto con la piel de soluciones de Amoniac en agua, pequeñas cantidades de éste pueden ingresar al torrente sanguíneo pero se eliminan de forma similar que en la inhalación a través de la orina y el sudor (OMS, 1986).

El daño por contacto causado por esta sustancia se debe de manera más marcada a su reactividad y sus propiedades de irritabilidad. La severidad del daño por contacto a este producto depende de la duración y concentración en el momento de la exposición. Por lo general, soluciones de Amoniac de concentración menor al 5% raramente causan quemaduras serias aunque pueden llegar a ser irritantes (ATSDR, 2002).

El Amoniac gaseoso se disuelve en el agua presente en la piel y los ojos convirtiéndose en Hidróxido de Amonio, el que es fácilmente dissociado y causa necrosis de los tejidos. A causa de su alta solubilidad en agua, se

puede difundir en capas de la piel más profundas y producir daño más crítico. Específicamente el Hidróxido de Amonio causa saponificación de los lípidos presentes en la membrana celular generando trastornos celulares y en circunstancias extremas, la muerte. En forma adicional, rompe las proteínas estructurales de la célula, extrae el agua presente en la célula e inicia una respuesta inflamatoria, que posteriormente compromete los tejidos cercanos (ATSDR, 2003; OSHA, 1978).

Para el caso del contacto con Amoniaco líquido (gas licuado), se generan quemaduras por frío además de las quemaduras de tipo alcalino antes descritas (ATSDR; 2002).

- **Ingestión:** Esta es una de las vías menos comunes de entrada de Amoniaco al organismo. La ingestión de Amoniaco y sus soluciones y sales en bajas cantidades (arriba de 35 ppm, que es el límite de percepción en el sentido del gusto) puede ocurrir por consumo de alimentos contaminados. Otra forma de acceso oral del Amoniaco consiste en la ingesta accidental o deliberada de soluciones de limpiadores domésticos o industriales de concentraciones de 5 a 10% (ATSDR, 2002, OSHA, 1978).

La ingestión de soluciones de Amoniaco (Hidróxido de Amonio) conduce a daños y quemaduras por corrosión en la boca, garganta y estómago. La ingestión de Amoniaco por lo general no conduce a envenenamiento del individuo pero puede causar la muerte dependiendo de la concentración y cantidad ingerida. En seguida de una ingestión de Amoniaco se puede sentir náusea, vómito y dolor abdominal. Si se sobrevive a los daños iniciales, puede existir la posibilidad de infección, cicatrices y otras complicaciones posteriores en periodos de días e incluso semanas (OMS, 1986).

Cuando se consume Amoniaco en la comida o en el agua, éste entra al flujo sanguíneo y se difunde por el cuerpo en corto tiempo. El Amoniaco que ingresa de esta forma cambia rápidamente a otras sustancias que no poseen efectos adversos para el organismo. Aquel Amoniaco que no se

transforma en esos compuestos, se elimina por la orina en unos días (OMS, 1986; OIT et al., 1991).

- **Efectos crónicos:** La exposición crónica a bajas concentraciones de esta sustancia en el aire (<25 ppm) no ha mostrado tener influencia en las funciones pulmonares (ATSDR, 2003).

Exposición prolongada (o crónicas) a concentraciones moderadas (25 - 100 ppm) influencia la generación de asma y bronquitis. Se pueden desarrollar en algunas irritaciones crónicas del tracto respiratorio y tos crónica. En los ojos se puede presentar irritación crónica de las membranas y en la piel puede causar dermatitis (ATSDR, 2002).

Niveles tóxicos en el organismo no se desarrollan en exposiciones respiratorias crónicas porque el cuerpo posee mecanismos de descontaminación y eliminación que le permiten excretarlo (ATSDR, 2004).

4.3.1. Efectos sistémicos

- **Efectos Cardiovasculares:** Exposición aguda a nieblas de Amoniaco de altas concentraciones (> 500 ppm) puede producir pulso elevado, aumento de la presión sanguínea, bradicardia y en algunos casos de exposición masiva se ha reportado falla cardiaca.
- **Efectos Gastrointestinales:** Quemaduras y ulceraciones generadas por contacto en la boca, tráquea y estomago son las afecciones más comunes. También se ha reportado vomito en exposiciones agudas.
- **Efectos Hematológicos:** Se ha observado cianosis, número elevado de glóbulos blancos y trombosis arterial en seres humanos expuestos a aerosoles de Amoniaco de altas concentraciones.

- **Efectos Musculares:** En ocasiones y para algunos individuos afectados se genera espasmo muscular a exposición de concentraciones elevadas de Amoniac gaseoso.
- **Efectos Hepáticos:** Para casos de exposición letal a Amoniac gaseoso (3000-4000 ppm) por un periodo de alrededor de una hora se puede presentar necrosis hemorrágica del hígado.
- **Efectos Renales:** Se han reportado casos de nefritis hemorrágica y congestión renal luego de exposiciones agudas accidentales de aerosoles de Amoniac. En algunos casos se ha reportado la muerte por falla renal a causa de ingestión de soluciones amoniacaes con fines domésticos.
- **Efectos Endocrinos:** En exposiciones crónicas de Amoniac a niveles de concentración bajos se produce aumento en el contenido de hormonas como adrenalina excretadas en la orina. No obstante la significancia de estos efectos no está clara.
- **Efectos Inmunológicos:** La exposición crónica a aerosoles de compuestos amoniacaes genera asma en muchos casos. La exposición crónica o aguda puede producir en algunos individuos la disminución de la resistencia bacterial y de la respuesta inmune a la infección por bacterias comunes del ambiente.
- **Efectos Neurológicos:** A causa del contacto con Amoniac en concentraciones elevadas se puede presentar perdida de la conciencia, debilidad muscular y visión borrosa (ATSDR, 2002).

4.4. Niveles permisibles de exposición ocupacional

TLV (TWA; 8 horas; ACGIH): 25 ppm; 17 mg/m³

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria general): 50 ppm; 35 mg/m³

PEL (TWA; 8 horas; OSHA para la industria de la construcción): 50 ppm; 35

mg/m³

IDLH (NIOSH): 300 ppm; 200 mg/m³

STEL (TWA; 15 minutos; ACGIH): 35 ppm; 24 mg/m³

TLV: Threshold Limit Value (Valor Límite Umbral).

PEL: Permissible Exposure Limit (Límite Permisible de Exposición).

IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health (Peligroso Inmediatamente para la vida y la Salud).

STEL: Short Time Exposure Limit (Límite de Exposición en Periodos Cortos) (EPA, 1985; ATSDR, 2002; ATSDR, 2003).

4.5. Comportamiento en el ambiente

El Amoníaco es una sustancia de presencia común en el medio ambiente y se puede encontrar en el suelo, el agua y el aire. El Amoníaco se recicla de forma natural en el medio ambiente como uno de los pasos del ciclo del Nitrógeno.

A causa de su reactividad, esta sustancia no dura mucho en su forma pura (ATSDR, 2002).

El Amoníaco atmosférico puede sufrir cuatro tipos de reacciones:

Reacciones en fase acuosa: La oxidación del Oxido de Azufre acuoso en presencia de Amoníaco genera la formación de aerosoles de sulfato de Amonio atmosféricos. Este proceso se favorece por la presencia de alta humedad, altas concentraciones de Amoníaco y bajas temperaturas.

Reacciones térmicas: incluyen La interacción de Amoníaco Anhidro con Dióxido de Azufre gaseoso para generar de nuevo aerosoles de sulfato de Amonio. Cuando la interacción se da con Ozono, se genera nitrato de Amonio en aerosol.

Reacciones fotoquímicas: Se produce una degradación fotolítica y una reacción posterior con radicales hidroxilo (OH-) fotolíticamente generados en la troposfera.

Reacciones heterogéneas: Se generan varios complejos de Amonio por la interacción de Amoníaco gaseoso con superficies que contienen Óxidos de Nitrógeno (ATSDR, 2002; OMS, 1986).

4.5.1. Suelo

El suelo obtiene el Amoniacó a partir de fertilización natural o artificial, por excretas animales, descomposición de materia orgánica o por fijación a partir de la atmósfera. Las concentraciones normales en el suelo se encuentran entre 1 y 5 ppm. Estas concentraciones pueden ser mayores en suelos abonados con compuestos de Amoniacó empleados para fines agrícolas; la cantidad de Amoniacó en ese suelo disminuye a niveles bajos en el plazo de algunos días por causa de volatilización y de absorción por plantas y bacterias (ATSDR, 2002).

Cuando se libera Amoniacó en el suelo, la transformación de este puede ocurrir por vía de plantas o de microorganismos.

En el caso de los microorganismos, éstos desempeñan cuatro procesos en el ciclo del Nitrógeno que resultan en la transformación y producción de Amoniacó: fijación de Nitrógeno, nitrificación, desnitrificación y amonificación (OMS, 1986).

En la fijación de Nitrógeno, éste es convertido a Amoniacó. La desnitrificación los Óxidos de Nitrógeno se reducen en condiciones anaerobias a Nitrógeno molecular (N_2) y Óxido Nitroso (N_2O). La nitrificación es la oxidación biológica de Nitrógeno amoniacal hasta nitrato. La amonificación es la conversión del Nitrógeno orgánico a Amoniacó. Las plantas toman al Amoniacó del suelo y lo asimilan como nutriente transformándolo en compuestos orgánicos nitrogenados. No obstante, concentraciones muy elevadas de Amoniacó en el suelo pueden llegar a convertirse en factores de toxicidad para las plantas, microorganismos y otras especies (ATSDR, 2003; OMS, 1986).

4.5.2. Aire.

Normalmente el Amoniacó está presente en el aire en concentraciones que dependen del área de análisis. En zonas urbanas la concentración de Amoniacó puede estar entre 5 y 25 mg/m³; en áreas rurales la concentración puede ir entre 2 y 6 µg/m³; para zonas con alto uso de abonos la concentración puede ser tan

grande como 200 µg/m³. Las concentraciones aumentan a causa de volatilización de Amoniacó del suelo o de fuentes de agua en áreas donde se aplica como fertilizante. Este fenómeno es más marcado en áreas de pH altos y temperaturas elevadas (OMS, 1986).

El Amoniacó liberado en el aire en forma de vapores y gases reacciona con sustancias ácidas del ambiente (Acido sulfúrico, clorhídrico o Nítrico) para producir aerosoles amoniacaes, los que pueden sufrir deposición por vía seca o vía húmeda. La deposición de Amoniacó por vía seca predomina en áreas de alto contenido de Amoniacó, mientras que la vía de deposición húmeda se da con más frecuencia para zonas con bajas concentraciones de Amoniacó (ATSDR, 2002).

Además de las reacciones con sustancias ácidas, o, como paso intermedio en estas reacciones, el Amoniacó se lava del aire rápidamente con ayuda de las lluvias gracias a su alta compatibilidad en este solvente. Por causa de estos mecanismos de transformación del Amoniacó en el aire, su vida media puede ser de algunos días dependiendo si la zona de liberación es industrializada o si se trata de zonas rurales, la vida media puede durar algún tiempo más (ATSDR, 2003; OMS, 1986).

4.5.3. Agua

El Amoniacó se puede liberar en el agua a través de efluentes de plantas industriales, derrames en líneas de agua y filtración en el suelo desde campos fertilizados con compuestos amoniacaes. Los niveles de Amoniacó normales en el agua están alrededor de 6 ppm pero de nuevo este valor puede variar dependiendo el lugar específico de medida; para el caso de campos altamente abonados la concentración puede llegar a 12 ppm (ATSDR, 2004; OMS 1986).

La transformación del Amoniacó en el agua ocurre por procesos microbiológicos de nitrificación y desnitrificación, los cuales generan compuestos iónicos de Nitrógeno y a partir de ellos se regenera Nitrógeno elemental. La remoción de los compuestos iónicos anteriores puede darse por adsorción de la sustancia en

sedimentos o material orgánico suspendido y por absorción hacia plantas acuáticas (ATSDR, 2004; OMS, 1986).

4.6. Análisis de riesgo.

4.6.1. Marco legal.

El fundamento legal y técnico básico que se emplea está contenido en el título cuarto protección al ambiente, del capítulo V actividades consideradas como altamente riesgosas de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) principalmente en los siguientes artículos: artículo 145 donde estipula que la secretaria (SEMARNAT) promoverá que en la determinación de los usos de suelo se especifiquen las zonas en las que se permita el establecimiento de industrias, comercios o servicios considerados riesgosos, de la misma manera en el artículo 146 de la LGEEPA, hace mención que las secretarías de energía, de economía, de salud, de gobernación y de trabajo y previsión social, conforme al reglamento que para efecto se expida, establecerá la clasificación de las actividades que deban considerarse altamente riesgosas en virtud de las características, corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológicoinfecciosas para el equilibrio ecológico o el ambiente, de los materiales que se generen o manejen en los establecimientos industriales, comerciales o de servicios, considerando, además, los volúmenes de manejo y la ubicación del establecimiento. Por otro lado el artículo 147 obliga a quienes realicen actividades altamente riesgosas deberán formular u presentar ante las secretaria un estudio de riesgos ambientales. En el artículo 17 con respecto a las actividades altamente riesgosas en los términos de la LGEEPA, deberá incluirse un estudio de riesgo a la manifestación de impacto ambiental cumpliendo el artículo 18 de la LGEEPA y por ultimo cumplir con los parámetros de la NOM-010-STPS-1999 (LGEEPA, 2013, STPS, 1999).

4.6.2. Definición de riesgo

Es necesario definir el significado de la palabra riesgo, según la real academia española la palabra riesgo implica la proximidad de un daño, desgracia o contratiempo que puede afectar la vida de los hombres. Etimológicamente riesgo proviene de rísico o rischio (peligro) (RAE, 2001). Los riesgos implican un mayor grado de controversia científica que los peligros, tanto respecto de sus causas como de sus consecuencias y probabilidades de ocurrencia. La acepción más divulgada de riesgo es la de peligro que se corre. En líneas generales coincidiría con la acepción dada en este trabajo a la palabra riesgo: riesgo: es la posibilidad de ocurrencia de un peligro(Aneas, 2000).

Las sustancias químicas forman parte del mundo. Los efectos negativos de una exposición de este tipo dependerán de la toxicidad de la sustancia, de la dosis, el tiempo y la frecuencia de la exposición(Marcos, 1996).

4.6.3. Peligro

Es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de sustancias o procesos que involucran sustancias bajo ciertas condiciones de producción, uso o disposición causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición; en otras palabras, es una fuente de daño (PNUMA, 1999).

4.6.4. Exposición

La exposición se define como la concentración cantidad o intensidad de un determinado agente físico, químico o ambiental que incide en una población, organismo, órgano, tejido o célula diana, usualmente expresada en términos cuantitativos de concentración de la sustancia, duración y frecuencia (para agentes químicos y microbiológicos) o de intensidad (para agentes físicos como la radiación). El término también se puede aplicar a una situación en la cual una sustancia puede incidir, por cualquier vía de absorción, en una población organismo, órgano, tejido o célula diana(PNUMA, 1999).

4.6.5. Tipos de riesgo

Existe una clasificación de riesgos estos son; riesgos naturales y riesgos tecnológicos, los riesgos tecnológicos a su vez puede ser tanto transporte de mercancías peligrosas por carretera así como el almacenamiento de sustancias peligrosas y muchas otras formas que implica un riesgo para la salud ocupacional y el medio ambiente(Aguirre, 2005).

4.7. Evaluación de riesgos

En cualquier instalación donde se almacenen o manipulen sustancias sólidas o líquidas, se puede considerar potencialmente peligrosa, en función del volumen de los depósitos, y sobre todo, de las características y composición de los mismos(Aguirre, 2005). El análisis cuantitativo de riesgo sobre una región geográfica específica caracterizada por una gran concentración de establecimientos industriales y movimiento de sustancias peligrosas, transportadas por ductos, vías férreas, carreteras y/o embarcaciones(Carrari, 2006).

4.7.1. Tipos de evaluación de riesgos

Existen tres formas de evaluación de riesgos ambientales que son los siguientes: evaluación de riesgos humanos, evaluación de riesgos ambientales y evaluación de riesgos ecológicos(PNUMA, 1999).

4.7.2. Métodos de evaluación de riesgos

Existe una amplia gama de métodos para la identificación de riesgos. Los principales son los siguientes:

Métodos cualitativos. Se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Suelen estar basados en técnicas de análisis crítico en las que intervienen distintos expertos de la planta. Su eficacia depende de la calidad de la

información disponible y de su exhaustividad. Destacan los siguientes:

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

HAZOP (o AFO, Análisis funcional de Operabilidad). Técnica inductiva de análisis crítica realizada por un equipo pluridisciplinario para identificar desviaciones de proceso que pueden conducir a accidentes.

Análisis del modo, efecto y criticidad de fallos (FMEAC). Método inductivo de reflexión sobre las causas/consecuencias de fallos de componentes en un sistema.

Análisis preliminar de riesgos. Método inductivo en el que se analiza de forma sistemática las causas, efectos principales y medidas preventivas/correctivas asociadas.

Checklist. Constituyen listas exhaustivas de posibles indicadores/accidentes a contemplar en la identificación de riesgos(PNUMA, 1992).

What if... Método inductivo en el cual se analiza sistemáticamente las consecuencias de determinados sucesos. Pueden considerarse también en su raíz como métodos cualitativos, los métodos de arboles de fallos y arboles de sucesos, siempre que no se les aplique el cálculo de frecuencias(Barcelona, 2002).

Método semicualitativos. Estos métodos se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una serie de índices que miden su potencial para ocasionar un daño en función de una serie de magnitudes y criterios (cantidad de producto, características de peligrosidad etc.). Entre estos destacan: Índice Mond de fuego, explosión y toxicidad, Índice Dow de fuego, explosión y toxicidad y otros métodos de apoyo(PNUMA, 1992).

Básicamente se incluyen aquí las auditorías de seguridad que suelen responder a otros objetivos (relativos a la organización de seguridad, el cumplimiento de una legislación, etc.), pero que pueden constituir una base para la identificación de riesgos(Barcelona, 2002).

4.8. Explosiones de nubes de gas o vapor

Las instalaciones que almacenan, producen o utilizan combustibles gaseosos son más numerosas que las que utilizan sustancias explosivas. Por otro lado, hay que destacar la mayor facilidad con la que las nubes gaseosas pueden encontrar puntos de ignición que originen la combustión de las mismas, fuera incluso de la propia instalación donde se ha generado(Díaz, 2006).

4.8.1. Descripción de las nubes

El término ‘explosión de nube de vapor’ (en inglés VCE, de “vapour cloud explosion”) es usado para definir la combustión de la mezcla combustible-aire formada por la fuga y dispersión de una sustancia combustible en la atmósfera, dando lugar a temperaturas muy elevadas, y generando una onda de presión.

4.8.2. El estallido del recipiente

Las causas por las que se puede producir la rotura de un recipiente son diversas: por debilidad estructural (corrosión, erosión, fatiga, defectos de los materiales), por impactos externos, por aumento de la presión debido a diferentes causas (sobrellenado, reacción fuera de control, explosión interna...) o por combinación de los anteriores fenómenos. Así, el recalentamiento por un incendio externo produciría conjuntamente el incremento de la presión interior del recipiente y debilitamiento y fallo de los

materiales que lo constituyen. En definitiva, el estallido puede producirse a la presión normal de operación o como consecuencia del aumento de esta. En este último caso, es sabido que los recipientes a presión interna si ésta supera ciertos límites. La explosión ocurre cuando los sistemas de alivio no son capaces de compensar el aumento de presión o cuando dichos sistemas fallan. En el momento del estallido la energía del fluido se invertirá en la formación de proyectiles y de una onda de presión. Además, puede producirse otra serie de consecuencias asociadas; así, la fuga de estos productos puede dar lugar a una bola de fuego, una explosión de nube de vapor, incendio flash o a la formación de una nube tóxica. Que ocurran estas consecuencias dependerá de las características inflamables y tóxicas de los productos contenidos o generados en la combustión y de las circunstancias de cada accidente. Estos efectos asociados al estallido de los recipientes no se contemplan en el presente estudio(Díaz, 2006).

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1. Metodología.

La metodología empleada fue por medio de la aplicación de un simulador de sucesos llamado ALOHA 2007, CAMEO 2007 como biblioteca de las sustancias químicas y mediante consultas de datos atmosféricos en el centro meteorológico de Monterrey con la finalidad de tener la mayor precisión del evento. Los datos del tanque de almacenamiento se tomo en cuenta de una industria de producto perecedero ubicada en Colombia, Nuevo León, se establecen en el siguiente Cuadro.

CUADRO 1. Características del tanque de almacenamiento	
Tanque cilíndrico horizontal	Químico que escapa del tanque (no flamable)
El diámetro del tanque: 1.576 m. Longitud del tanque: 4.54 m.	El volumen del tanque: 8.86 m ³
El tanque contiene la temperatura interior líquida: 21.2° C.	La masa de la sustancia química en el tanque: 4,411 kilogramos.
El tanque es 81.8% lleno.	El diámetro de la apertura redondo: .78 pulgadas.
Nivel de apertura 1.58 metros del fondo del tanque.	

Los parámetros climáticos utilizados para la realización del análisis de riesgo se obtuvo de la comisión nacional del agua (CONAGUA ,2012) de Monterrey, se tomaron en cuenta estadísticas de viento dominante y viento máximo que se ha registrado en la región desde 1980 hasta 2012.

1. Estadística de viento dominante: Se tomo en cuenta las lecturas de unos promedios extremos; el más bajo fue el mes de marzo (cuadro 2) y el más alto el mes de noviembre (cuadro 3).

2. Estadística de viento máximo: lecturas de unos promedios extremos; el más bajo fue el mes de enero (cuadro 4) y el mas alto el mes de mayo (cuadro 5).

- a) Se selecciono el promedio del mes de enero por ser el más bajo dentro de los vientos máximos (Anexo 3).
- b) Se selecciono el promedio del mes de mayo por ser el más alto en la velocidad del viento (Anexo 4).

3. Temperatura: En este caso las temperaturas que se tomaron en cuenta fueron con respecto al mes de la velocidad del viento.

4. Humedad Relativa: Se tomo en cuenta al mes correspondiente a las velocidades del viento respectivas.

5.2. Añadiendo el sitio a la lista de lugares de ALOHA.

Es necesario añadir sitio de análisis en el programa. Para añadir su lugar a la lista de ciudades de ALOHA se debe tener información sobre lo siguiente:

- Latitud/longitud en grados/minutos.
- Elevación en pies o metros.

1. Abrir la “Lista de lugares.
2. Seleccionar el botón de “adicionar (Add)”.
3. Escribir la información en los campos de texto correspondiente.
4. Seleccionar “Ok” (Figura 1).

Location Input

Enter full location name:

Location is

Is location in a U.S. state or territory ?

In U.S. Not in U.S.

Enter approximate elevation

Elevation is ft m

Enter approximate location

	deg.	min.		
Latitude	<input type="text" value="25"/>	<input type="text" value="7"/>	<input checked="" type="radio"/> N	<input type="radio"/> S
Longitude	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="1"/>	<input type="radio"/> E	<input checked="" type="radio"/> W

Figura 1. Ventana para coordenadas o ubicación de sitios ALOHA.

Location Information

<p>ANAHEIM, CALIFORNIA</p> <p>ANAHUAC, NUEVO LEON, MEXICO,</p> <p>ANCHORAGE, ALASKA</p> <p>ANN ARBOR, MICHIGAN</p> <p>ANNAPOLIS, MARYLAND</p> <p>ARLEE, MONTANA</p> <p>ARLINGTON, TEXAS</p> <p>ASHLAND, KENTUCKY</p> <p>ASHTABULA, OHIO</p> <p>ATHENS, OHIO</p> <p>ATLANTA, GEORGIA</p> <p>AUBURN, ALABAMA</p> <p>AUBURN, WASHINGTON</p> <p>AUGUSTA, MAINE</p> <p>AURORA, MISSOURI</p>	<p><input type="button" value="Select"/></p> <p><input type="button" value="Cancel"/></p> <p><input type="button" value="Add"/></p> <p><input type="button" value="Modify"/></p> <p><input type="button" value="Delete"/></p> <p><input type="button" value="Help"/></p>
---	--

Figura 2. Ventana de listado a lugares para seleccionar en este caso Anáhuac, Nuevo León.

5.3. Ajustando Fecha y hora

ALOHA Se ajusta al “tiempo real” tomando el reloj de la computadora. Se puede ajustar otro tiempo ya sea una hora futura (para propósito de planificación), o una hora pasada (para investigaciones sobre accidentes).

5.4. Incorporación de datos en Aloha

Incorporando información sobre escapes: menú “setup”

Seleccionar la sustancia química a la biblioteca de ALOHA.

1. Seleccionar el menú “setup”.
2. Seleccionar “sustancia química (chemical)”.
3. Escoger entre “sustancia pura (pure substance)” o “soluciones (solutions)”*.
4. Desplazarse hacia abajo (o utilice el teclado de búsqueda rápida (Figura 3) para localizar la sustancia química buscada.
5. Seleccionar “ok”.

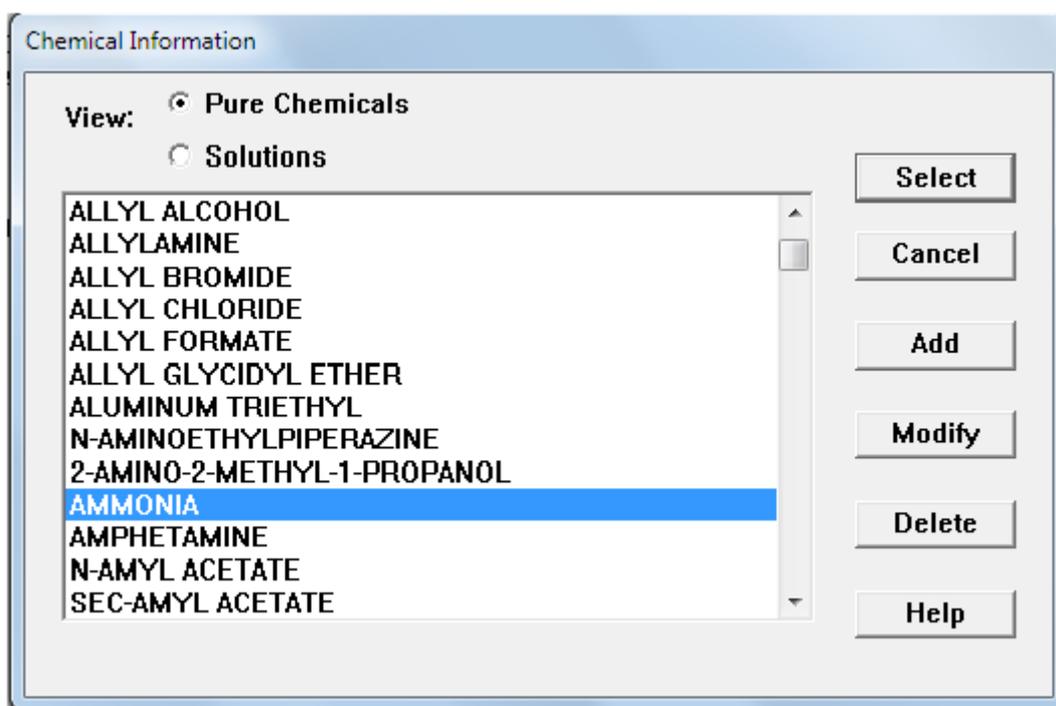


Figura 3. Biblioteca de las sustancias químicas peligrosas.

La función de teclear la búsqueda rápida.

1. Abrir la biblioteca química de ALOHA.
2. Escribir, rápidamente, las primeras 3 o 4 letras del nombre de la sustancia química.

Nota: Se puede adicionar o modificar las sustancias en la biblioteca química de ALOHA-CAMEO companion para planificadores.

Utilizando el RIDS de CAMEO como link (eslabón) de ALOHA.

1. Encuentre la sustancia química deseada en la biblioteca química de CAMEO.
2. Seleccionar el menú de “compartir (sharing)”.
3. Seleccionar “ALOHA”/ “seleccione esta sustancia química en ALOHA”.

Nota: En algunos casos, el menú de “compartir (sharing)” de CAMEO/ALOHA permite navegar entre la información de RIDS y el programa de ALOHA. Sin embargo, se puede tener la misma funcionalidad si se selecciona la misma sustancia en los dos programas y se utiliza la barra de herramientas de la parte baja de su pantalla para ir de CAMEO a ALOHA y viceversa.

5.4.1. Menú de sustancias químicas

1. Seleccionar el menú “setup”.
2. Seleccionar la sustancia química deseada de la biblioteca química de ALOHA.
3. Seleccionar “OK”.

5.4.2. Menú atmosférico

ALOHA permite la incorporación de tres tipos de información climática. Estos son:

- ✓ Condiciones climáticas incorporadas por el usuario.
- ✓ Conexiones a un sin número de estaciones SAM o MET; en la página Web de CAMEO está disponible una lista de proveedores que tienen estaciones climáticas portátiles integradas a ALOHA. Esto se puede encontrar bajo el enlace (link) de “foro de soporte (support fórum)”.
- ✓ Estación “fingida” de SAM, construida dentro de ALOHA (se utiliza solo para entrenamientos y capacitaciones).

5.5. Incorporando la información sobre condiciones climáticas manualmente

1. Seleccionar el menú “setup”.
2. Seleccionar “atmosférico (atmospheric)”.
3. Seleccionar “información incorporada por usuario (user input)”.
4. Escribir las condiciones atmosféricas calculadas por datos de estación meteorológica de la región a evaluar.

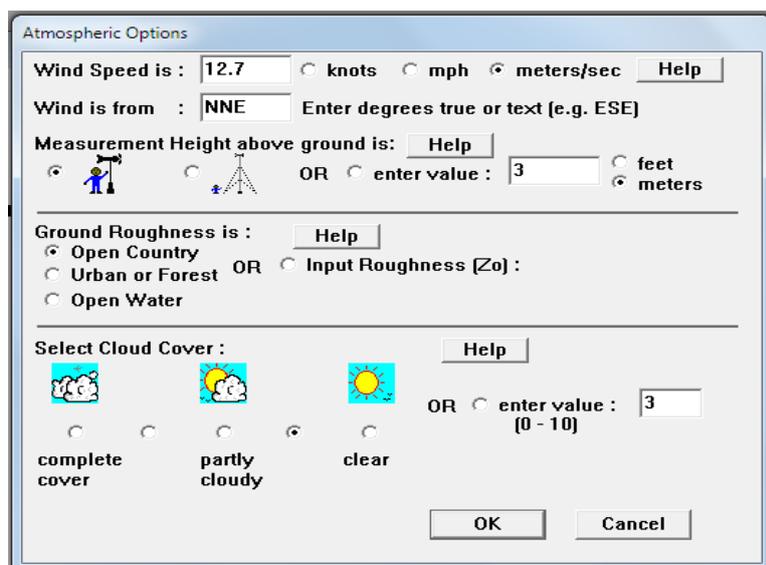


Figura 4. Ventana para la incorporación de las condiciones climáticas, en el simulador ALOHA.

5.6. Fuente de tanque para “gases” (Figura 5)

1. Seleccionar el menú “setup”.
2. Seleccionar “fuente (source)”.
3. Seleccionar “tanque (tank)”.

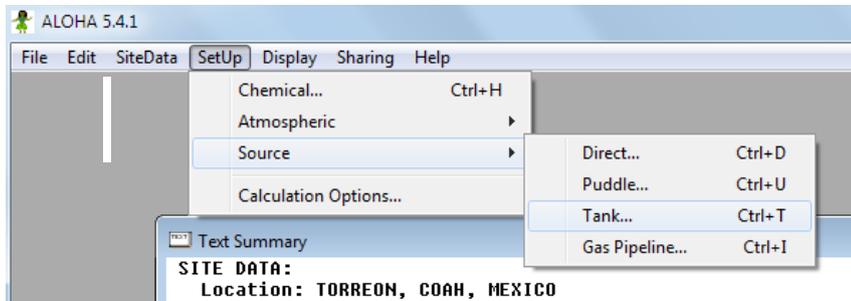


Figura 5. Menú de seleccionar para tipo de tanque

4. Seleccionar “tipo de tanque (tank type)” (Figura 6)
5. Escribir la información para dos de los siguientes parámetros (para tanques esféricos escribir solo el “diámetro” o “volumen”)
 - a) Diámetro
 - b) Longitud
 - c) Volumen

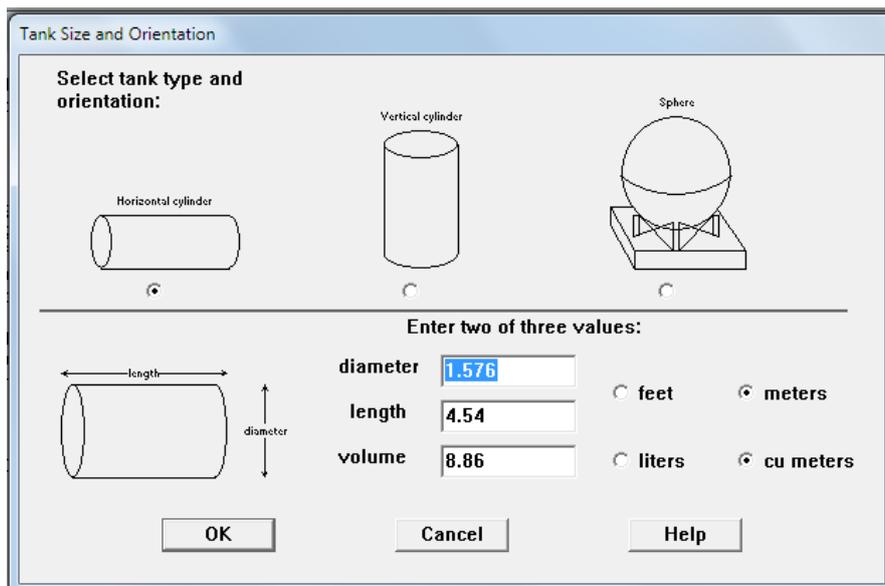


Figura 6. Incorporación de los datos del tanque de almacenamiento.

6. Seleccionar "OK".
7. Seleccionar "Tanque solamente contiene liquido (tank contains liquid)".
8. Escribir el valor de la temperatura de la sustancia almacenada (Figura 7).

Chemical State and Temperature

Enter state of the chemical: Help

Tank contains liquid
 Tank contains gas only
 Unknown

Enter the temperature within the tank: Help

Chemical stored at ambient temperature
 Chemical stored at degrees F C

OK Cancel

Figura 7. Seleccione de la característica y temperatura del contenido almacenada en el tanque.

NOTA: muchas sustancias gaseosas se almacenan como "líquidos". No debe modelar estos como gases en ALOHA.

9. Escribir la cantidad de sustancia contenida y el nivel reglamentario de almacenamiento (Figura 8).

Figura 8. Nivel de contención en el tanque de almacenamiento.

10. Seleccionar el tipo de evento que ocurre con la sustancia (type of tank failure) en este caso seleccionar la primera opción (leaking tank, chemical is not burning as it escapes into atmosphaera) (Figura 9).

Figura 9. Ventana de selección el tipo evento que causa la sustancia.

11. Escribir el tamaño y la localización del hueco (Figura 10 y 11.).

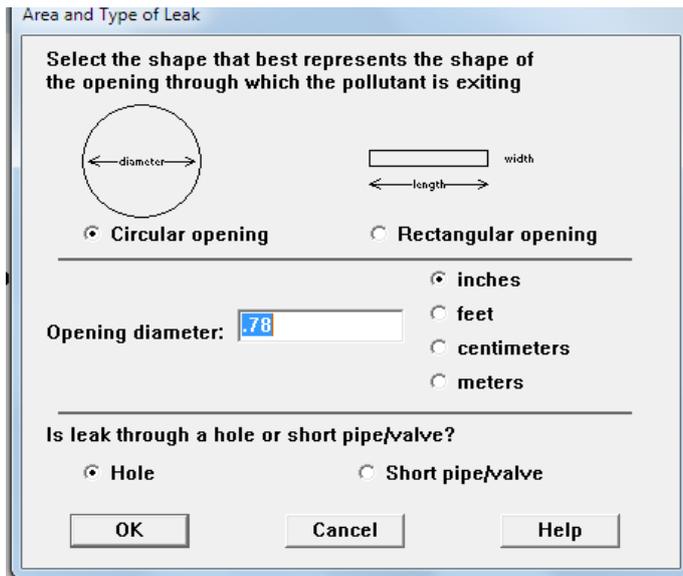


Figura 10. Tipo y tamaño de la abertura.

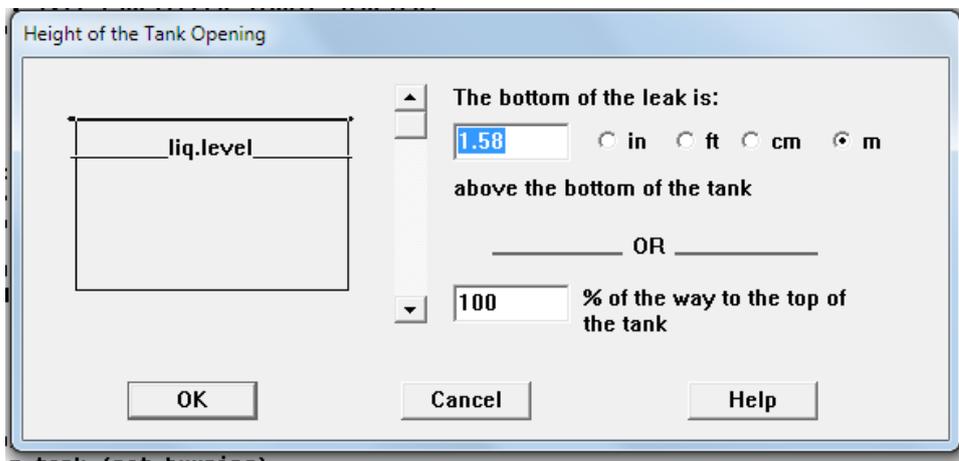


Figura 11. Localización de la abertura del tanque de almacenamiento.

12. Ya que se tiene todos los datos necesarios para la simulación, ahora seleccionar zona de amenaza (threat zone) (Figura 12.).

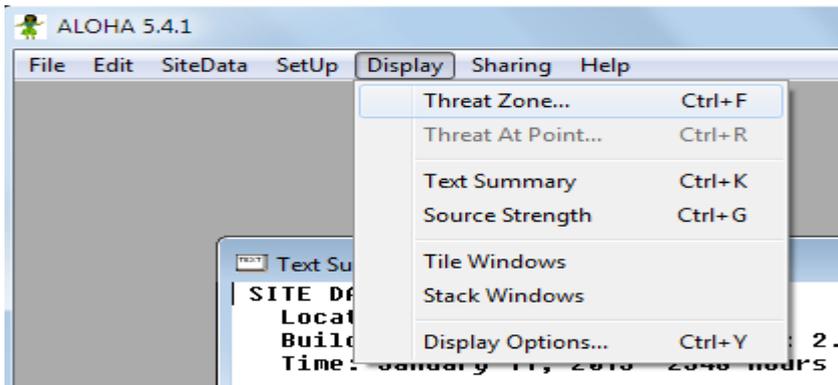


Figura 12. Seleccione (threat zone) para el inicio de la simulación.

13. Seleccionar vapor de nube toxica (toxic area of vapor cloud) (figura 13) y en la figura 14 se puede observar la selección del nivel de concentración de la sustancia.

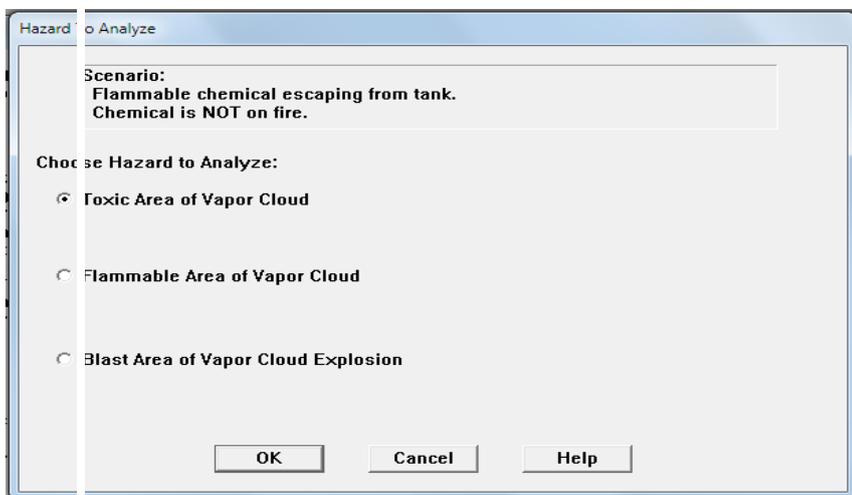


Figura 13. Selección del tipo de riesgo a analizar.

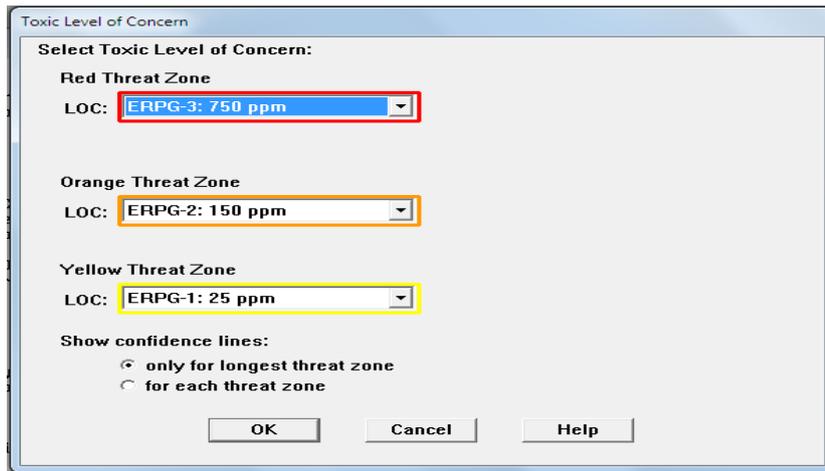


Figura 14. Ventana en donde se establecen las concentraciones y zonas de riesgos causada por la fuga de amoniaco.

14. Sigue seleccionar (source strength), esto con la finalidad de obtener la grafica que indica la velocidad de descarga en kilogramos por segundo.

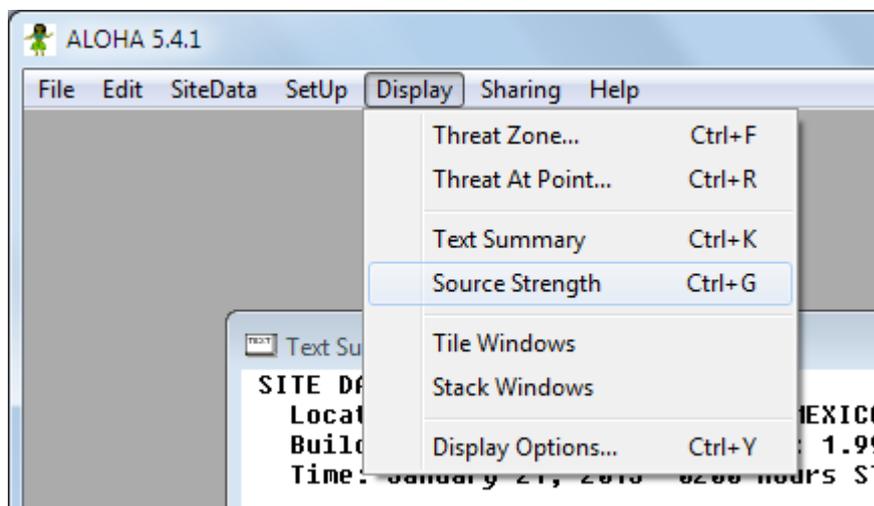


Figura 15. Menú de inicio para la selección de (source strength).

15. Por último, seleccionar en menú display (threat at point) con la finalidad de saber el comportamiento del gas y su concentración en el punto específico (Figura 16).

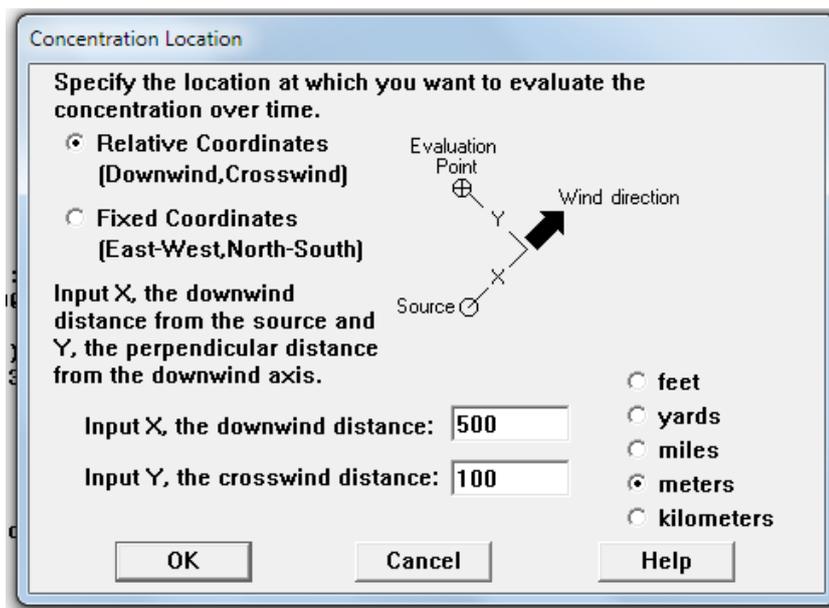


Figura 16. Localización específica del punto de amenaza.

VI. RESULTADOS

6.1. Área de afectación por fuga de amoníaco, según modelo obtenido en el programa ALOHA 2007 en la primera simulación (Anexo 1)

En el Cuadro 1, se observan los parámetros ambientales introducidos para medir el riesgo por fuga de amoníaco, considerando la velocidad y dirección del viento, la nubosidad, la temperatura del aire y la humedad relativa.

En base a los datos del Cuadro 1 se obtiene la distancia de la zona de amenaza. Las líneas de respuesta de emergencia y planeación establecida dentro del programa se obtienen los resultados siguientes; (confidence lines) línea de salvaguarda o de seguridad alcanzando a una de hasta 332 metros, ERPG – 1= 25 mg/kg⁻¹ la línea amarilla alcanza una distancia de 332 metros de distancia, ERPG – 2= 150 mg/kg⁻¹ corresponde a la línea naranja esta zona alcanza una distancia de 128 metros y por último la línea roja en donde existe mayor concentración del amoníaco, ERPG – 3= 750 mg/kg⁻¹ llega a una distancia de 56 metros.

El punto azul es la coordenada donde se ubica un edificio que se considera como parte del análisis con la finalidad de observar el comportamiento del amoníaco fugado.

CUADRO 2. Parámetros ambientales introducidos en el programa ALOHA para medir el riesgo por fuga de amoniaco, para un ambiente urbano con estabilidad D en la primera simulación.

Velocidad del viento	Dirección Del viento	Nubosidad	Temperatura del aire	Humedad relativa
m/s			°C	%
12.7	Nor-noreste	3	23.3	38

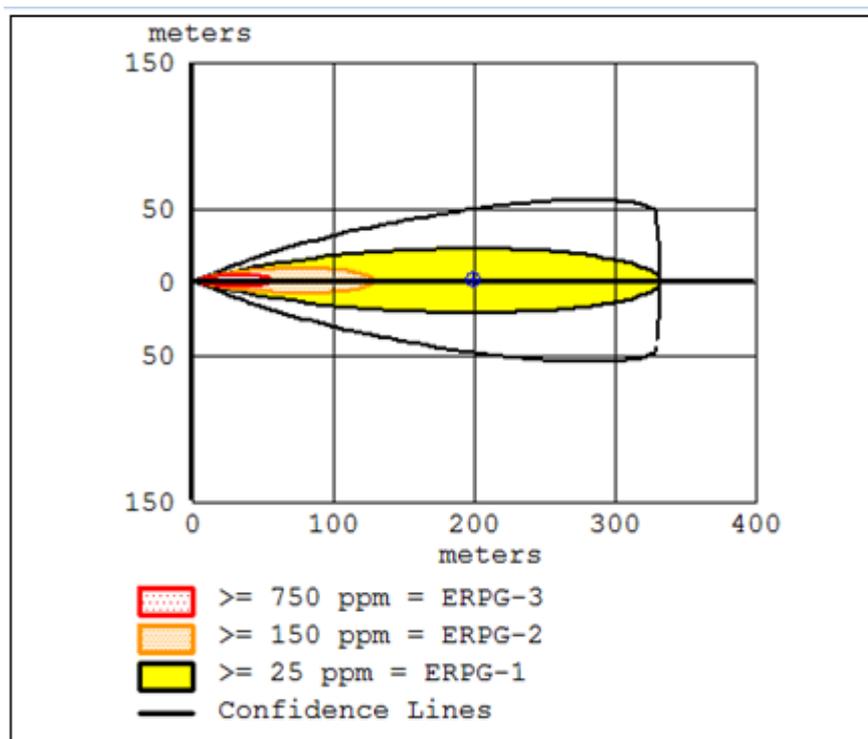


Figura 17. Definición de la zona de amenaza y área de afectación primera evaluación.

6.1.1. Descarga de la fuga de amoniaco por unidad de tiempo obtenido en el simulador ALOHA (Anexo 1)

De acuerdo con las condiciones atmosféricas y la cantidad de amoniaco contenida en el tanque de almacenamiento aplicando en el simulador de eventos, la evaluación indico que el promedio máximo que sostuvo la proporción de descarga fue de 17.9 kg/min. Mientras que la cantidad total fugada fue de 587 kg en un periodo de 60 minutos (Figura 18).

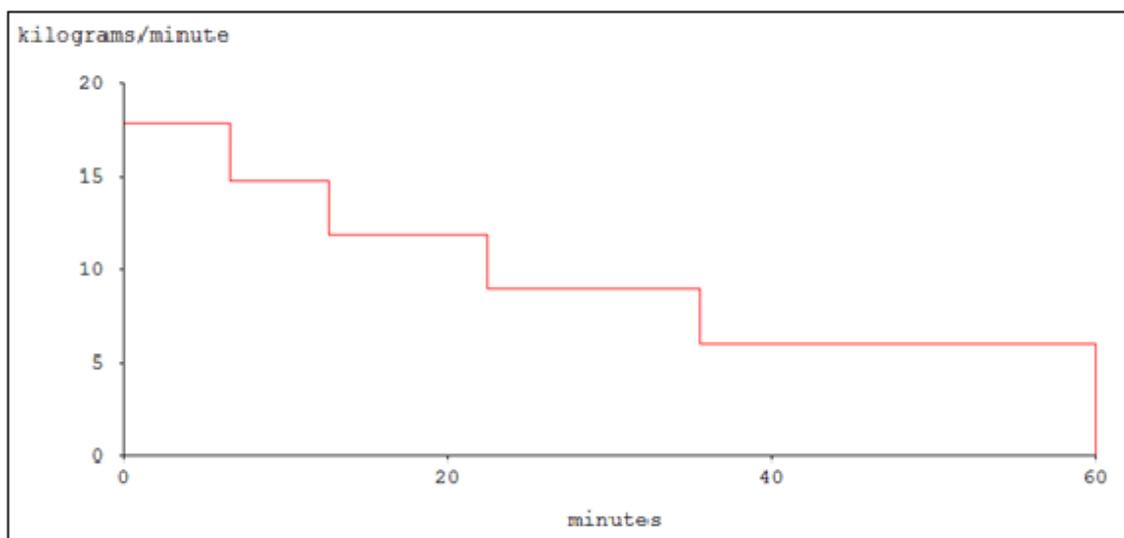


Figura 18. Cantidad de kilogramos fugados de amoniaco por unidad de tiempo equivalente a 60 minutos en la primera evaluación.

6.1.2. Punto de amenaza y concentración dentro y fuera de un edificio a considerar cuya ubicación a la coordenada establecida (Anexo 1)

En la primera simulación realizada para el punto de amenaza (Anexo 1), los resultados obtenidos a la coordenada eje X = 500 metros y al eje Y = 100 metros con referente a la fuente de la contaminación de la sustancia química a la dirección del viento, dieron resultados las concentraciones máximas siguientes: se observa que conforme transcurre un periodo de 60 minutos existen variaciones de concentración, la línea roja representa aire libre con una concentración máxima promedio de 0.201 mg/kg^{-1} por otro lado la línea azul golpeada representa el interior del edificio con una concentración máxima promedio de 0.453 mg/kg^{-1} (Figura 19).

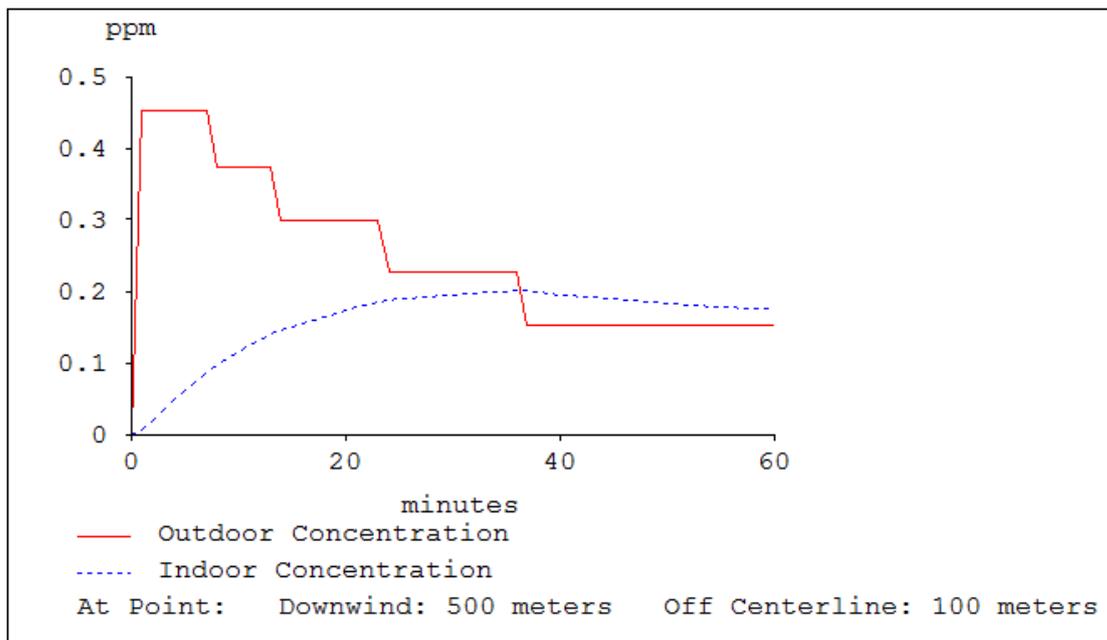


Figura 19. Variación de la concentración del amoníaco en periodo de 60 minutos dentro y fuera de un edificio en la primera evaluación.

6.2. Área de afectación por fuga de amoníaco, según modelo obtenido en el programa ALOHA 2007 en la segunda simulación (Anexo 2)

En el Cuadro 2 están los parámetros utilizados para la evaluación de riesgos, considerando la velocidad y dirección del viento, la nubosidad, la temperatura del aire y la humedad relativa.

En base a los datos del Cuadro 2 se obtiene la definición de la zona de amenaza dada por la fuga de amoníaco (ALOHA, 2007); (confidence lines) línea de salvaguarda o de seguridad alcanzando a una de 351 metros, ERPG – 1 = 25mg/kg^{-1} la línea amarilla alcanza una distancia 351 metros de distancia, ERPG – 2 = 150mg/kg^{-1} línea naranja esta zona alcanza a una de 134 metros y por último la línea roja ERPG – 3 = 750mg/kg^{-1} llega a una distancia de 58 metros de distancia (Figura 17).

CUADRO 3. Parámetros ambientales introducidos en el simulador ALOHA para medir el riesgo por una fuga de amoniaco, para un ambiente urbano con estabilidad D en la segunda simulación.

Velocidad del viento	Dirección Del viento	Nubosidad	Temperatura del aire	Humedad relativa
m/s			°C	%
14.5	Nor-noreste	3	30.01	55

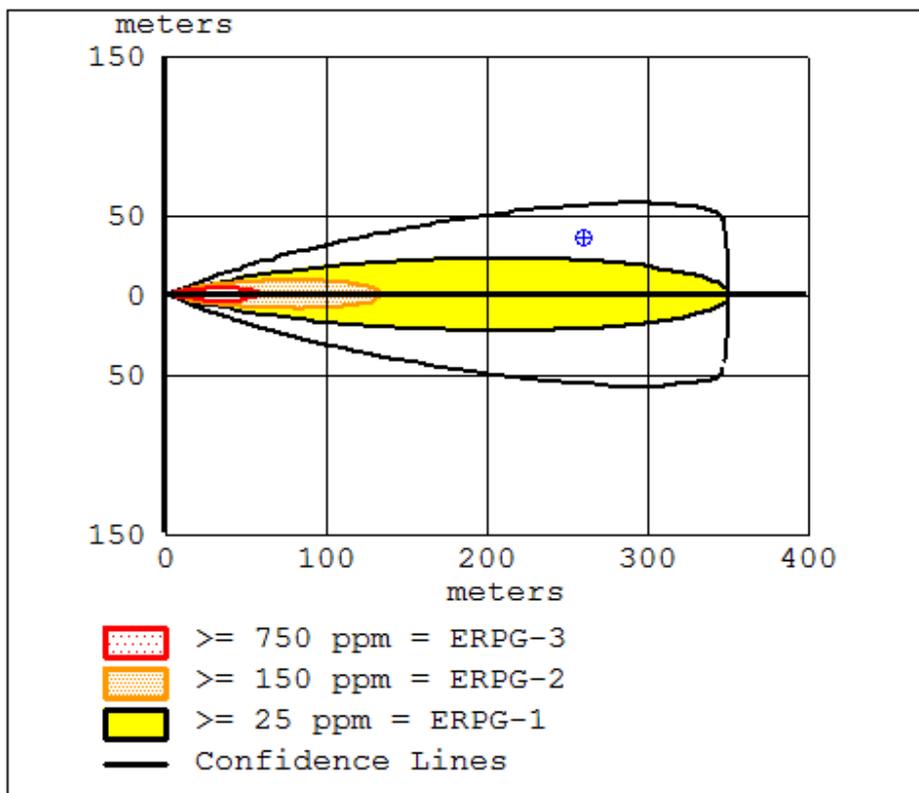


Figura 20. Definición de las zonas de amenaza y área de afectación segunda evaluación.

6.2.1 Descarga de la fuga de amoniaco por unidad de tiempo obtenida en el simulador ALOHA (Anexo 2)

De acuerdo con las condiciones atmosféricas y la cantidad de amoniaco contenida en el tanque de almacenamiento aplicando en el simulador de eventos, la evaluación indico que el promedio máximo que sostuvo la proporción de descarga fue de 22 kg/min. Mientras que la cantidad total fugada fue de 668 kg en un periodo de 60 minutos (Figura 21).

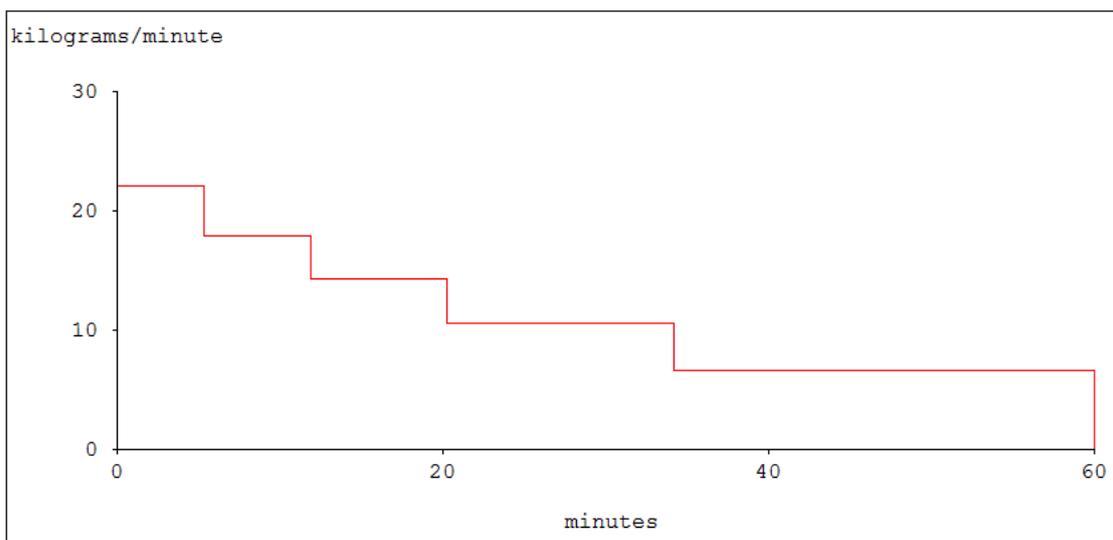


Figura 21. Cantidad de Kilogramos fugados de amoniaco por unidad de tiempo equivalente a 60 minutos en la segunda evaluación.

Nota: El químico escapo del tanque en forma de gas.

6.2.2 Punto de amenaza y concentración dentro y fuera de un edificio a considerar cuya ubicación a la coordenada establecida en la segunda simulación de sucesos (Anexo 2).

En la segunda simulación realizada para el punto de amenaza (Anexo “), los resultados obtenidos a la coordenada eje X o distancia igual a 500 metros y al eje Y o línea del centro es igual a 100 metros con referente a la fuente de la contaminación de la sustancia química a la dirección del viento, dieron resultados las concentraciones máximas siguientes: se observa que conforme transcurre un periodo de 60 minutos existen variaciones de concentración. La línea roja representa al aire libre dando como resultado una concentración máxima promedio de $0.0219 \text{ mg/kg}^{-1}$. Por otro lado en el interior del edificio representada con la línea azul golpeada con una concentración máxima promedio de $0.0499 \text{ mg/kg}^{-1}$ (Figura 22).

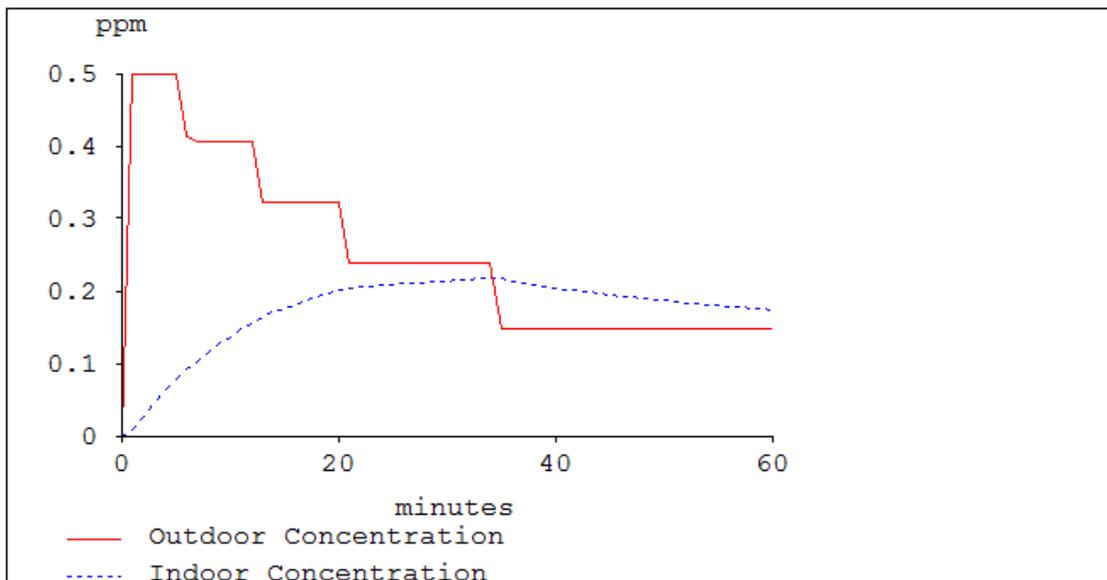


Figura 22. Variación de la concentración del amoníaco en periodo de 60 minutos dentro y fuera de un edificio en la segunda evaluación.

6.3. Área de afectación por fuga de amoníaco, según modelo obtenido en el programa ALOHA 2007 en la tercera simulación (Anexo 3)

En el Cuadro 3, se observan los parámetros ambientales introducidos para medir el riesgo por fuga de amoníaco, considerando la velocidad y dirección del viento, la nubosidad, la temperatura del aire y la humedad relativa.

En base a los datos del Cuadro 3 se obtiene la distancia de la zona de amenaza. Los resultados son los siguientes; (confidence lines) línea de salvaguarda o de seguridad alcanzando a una distancia de hasta 332 metros, ERPG – 1 = 25 mg/kg⁻¹ la línea amarilla alcanza una distancia de 332 metros de distancia, ERPG – 2 = 150mg/kg⁻¹ corresponde a la línea naranja esta zona alcanza a una distancia de 127 metros y por último la línea roja en donde existe mayor concentración del amoníaco, ERPG – 3 = 750mg/kg⁻¹ llega a una distancia de 55 metros.

CUADRO 4. Parámetros ambientales introducidos en el programa ALOHA para medir el riesgo por fuga de amoniaco, para un ambiente urbano con estabilidad D en la primera simulación.

Velocidad del viento	Dirección Del viento	Nubosidad	Temperatura del aire	Humedad Relativa
m/s			°C	%
12.4	SSE	3	22.5	55

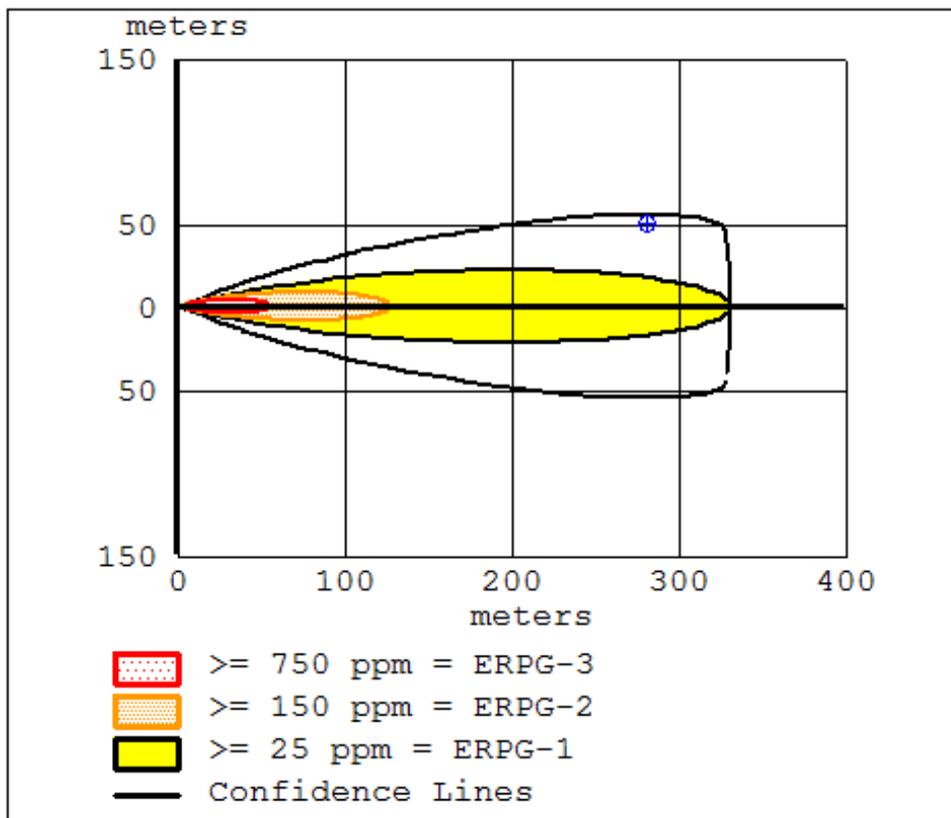


Figura 23. Definición de la zona de amenaza y área de afectación.

6.3.1 Descarga de la fuga de amoniaco por unidad de tiempo obtenida en el simulador ALOHA (Anexo 3)

De acuerdo con las condiciones atmosféricas y la cantidad de amoniaco contenida en el tanque de almacenamiento aplicando en el simulador de eventos, la evaluación indicó que le promedio de un minuto o más, sostuvo la proporción de descarga fue de 17.4 kg/min. Mientras que la cantidad total de fugada fue de 583 Kg en un periodo de 60 minutos (Figura 24).

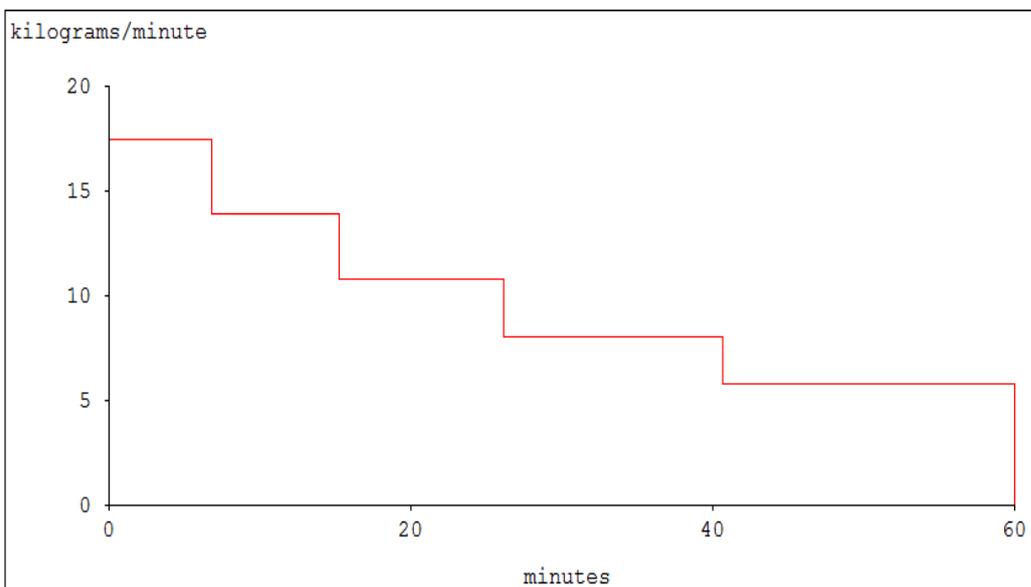


Figura 24. Cantidad de Kilogramos de amoniaco fugado del tanque en la tercera evaluación.

Nota: El químico escapó del tanque en forma de gas.

6.3.2 Punto de amenaza y concentración dentro y fuera de un edificio a considerar cuya ubicación a la coordenada establecida en la tercera simulación de sucesos (Anexo 3).

En la primera simulación realizada para punto de amenaza (Anexo 3), los resultados obtenidos a la coordenada eje X = 500 metros y al eje Y = 100 metros con referente a la fuente de la contaminación de la sustancia química a la dirección del viento, dieron resultados las concentraciones máximas siguientes: se observa que conforme transcurre un periodo de 60 minutos existe variaciones de concentración, la línea roja representa al aire libre que existe una concentración máxima promedio de $0.0451 \text{ mg/kg}^{-1}$ mientras que la línea azul golpeada representa el interior del edificio dando concentración máxima promedio de $0.0197 \text{ mg/kg}^{-1}$ (Figura 25).

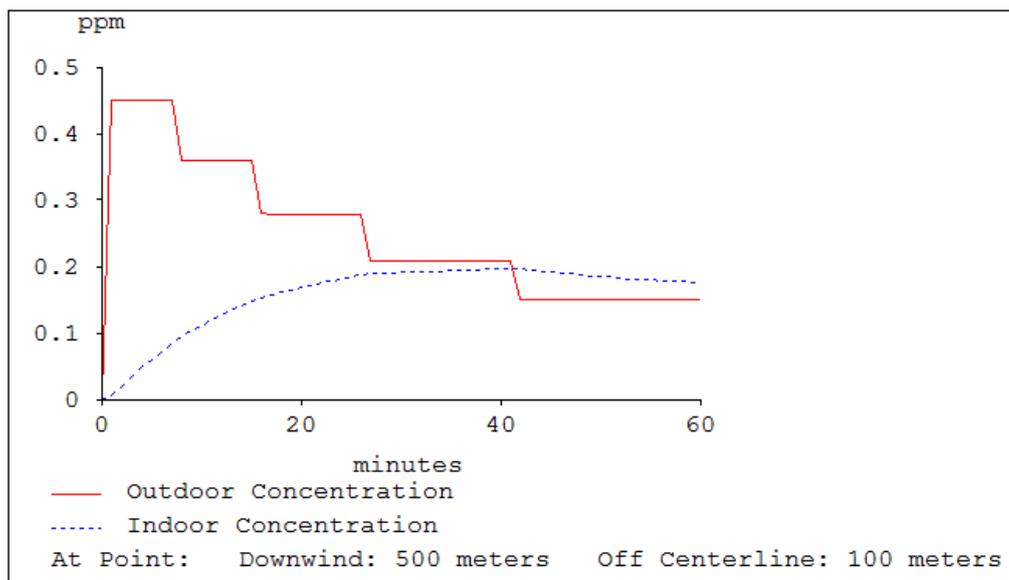


Figura 25. Variación de la concentración del amoníaco en periodo de 60 minutos dentro y fuera de un edificio en la tercera evaluación.

VII. CONCLUSIONES

- De acuerdo con las simulaciones realizadas mediante el programa ALOHA: el grado y área de afectación ha mostrado diferente comportamiento con respecto a las condiciones climáticas, esto es que en situaciones donde existe una estabilidad baja en velocidad del viento, la dispersión presenta dificultad, mientras tanto, las condiciones climáticas donde el viento presenta velocidad mayor la dispersión es mayor y existe menor riesgo de intoxicación en el área debido que el viento favorece a que las partículas del gas se dispersen en un menor tiempo.
- Es posible observar la versatilidad del programa para la simulación de los riesgos, además de determinar el área de afectación, este simulador tiene otros beneficios así como puede usarse (ALOHA) para estimar la magnitud del área que pudo estar en riesgo en una situación (zona de amenaza). También para obtener las concentraciones interiores y al aire libre a cualquier situación especial o un edificio que se involucre durante la hora después que empieza un descargo en una zona específica.

VIII. RECOMENDACIONES

Siempre han existido derrames o fugas de amoniaco debido a su importancia es necesario considerar lo siguiente:

- Realizar una evaluación de riesgo a industrias que en sus procesos de producción impliquen usos del amoniaco.
- Debido a la confiabilidad del simulador ALOHA es recomendable su uso sobre todo por los resultados obtenidos.
- Las empresas que manejen en su proceso el uso de amoniaco deberán contar con un Programa Para la Prevención de Accidentes el cual es recomendable actualizar de manera constante de acuerdo a las variables meteorológicas del sitio de interés.
- Recomendable utilizar los equipos adecuados para la protección ocupacional, así como la delimitación del área que puede ser afectada en caso de un siniestro.

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguirre G., 2005, "La valoración de los riesgos en la ordenación del territorio; metodología practica." Boletín de A.G.E.N. 40: págs. 393-405. [Citado febrero 18 de 2008].

<http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1308557>

ALOHA, 2007. USER'S MANUAL, [Citado septiembre 24 de 2012].

<http://www.epa.gov/osweroe1/content/cameo/aloha.htm>

Aneas S., D. 2000 "Riesgos y peligros: una visión desde la geografía," Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales, 2000. - 60 : Vol. V; [Citado octubre 10 de 2012]. <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>

ATSDR., 2002. "Public Health Statement for Amomonía." [Citado septiembre 08 de 2012]. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/phs126.html>

ATSDR., 2002. "Toxicological Profile for Ammonia." [Citado septiembre 10 de 2012]. <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.html>

ATSDR., 2003. "Managing Hazardous Material Incidents Ammonia." [Citado octubre 22 de 2012]. <http://www.atsdr.cdc.gov/MHMI/mmg126.pdf>

ATSDR., 2004. "Resumen de salud pública." Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU." ATSDR. [Citado noviembre 16 de 2012] http://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs126.pdf

ATSDR., 2008. "CERCLA Priority List of Hazardous subastnaces, (Agency for Toxic Substances Disease Resgistry)," OSHA. [Citado enero 10 de 2013] <http://www.atsdr.cdc.gov/cercla/07list.html>

Barcelona, S. d. p. c. d., 2002. [Citado septiembre 12 de 2012]
http://www.inforiesgos.es/ficheros_comunes/documentos/1.pdf

Bolaños, M., 2012. *America noticias.pe*. Fuga de amoniaco en fábrica de helados causó alarma en el Cercado de Lima [Citado octubre 11 de 2012]
Available at: <http://www.americatv.com.pe/portal/noticias/actualidad/fuga-de-amoniaco-en-f-brica-de-helados-caus-alarma-en-el-cercado-de-lima>.

Bataller R., V. J. y Martínez V. 2004. "Toxicología Clínica." Universitat de Valencia, pág. 236. [Citado noviembre 12 de 2012]
http://books.google.com.mx/books?id=k1YTQn23lnYC&pg=RA3PA236&dq=TOXICOLOGIA+AMONIACO&lr=&sig=ACfU3U26UkIHEzU7_g3h7nZ2n_N8LfzkDA#PRA3-PA236,M1

Bravo M., Dispes L., E. Herrero, S. Rodríguez, M. y Tamarit, 2004. "National Toxicology." Edition Valencia, UCH-CEU V: 6. [Citado diciembre 3 de 2012]
http://www.uch.ceu.es/principal/noticias_toxicologia/gacetaToxica/6.pdf

CAMEO, 2004. "Cameo Companion en español" [Citado octubre 23 de 2012]
http://www.epa.gov/osweroe1/docs/cameo/Cameo_Companion_Grupos_Respuesta_esp.pdf

Comisión Nacional del Agua, 2012. "Gerencia regional cuencas del norte, subgerencia regional técnica." Edición 2012, Monterrey Nuevo León, México.

Carri C. A. y L. Tonelli S., 2006. "Desarrollo de una estrategia para el análisis de riesgo de área del polo petroquímico y puerto de Bahía Blanca." (Universidad Nacional del Sur – CONICET).

- Díaz F., 2006 “Análisis de consecuencias y zonas de palmificación para explosiones industriales accidentales (en el ámbito de las directivas Seveso).” Universidad de Murcia Facultad de Química Departamento de Ingeniería Química V. 1.
http://www.tdr.cesca.es/TESIS_UM/AVAILABLE/TDR-1019106-125534/DíazAlonso.pdf
- Edson H., 2008 “Acidentes ambientales: conceptos básicos.” CEPIS/OPS [Citado enero 10 de 2013] <http://www.cepis.ops-oms.org/tutorial1/e/acciambi/>
- Elvers B., y S. Hawkins 1989. “Ullman’s encyclopedia of industrial chemistry,” V. 2.
- Environmental Protection Agency (EPA), 1991, List of IRIS substances, ammonia. [Citado diciembre 10 de 2012] <http://www.epa.gov/iris/subst/0422.htm>
- Environmental Protection Agency, 1985. “Ammonia Chemical Profile and Emergency First Aid Treatment Guide.” [Citado diciembre 16 de 2012] http://yosemite.epa.gov/oswer/ceppoehs.nsf/Alphabetical_Results?openview
- GAXIOLA, F. L., 2012. Fuga de amoníaco obliga evacuación de 600 personas en Hermosillo, milenio.com. [Citado octubre 20 de 2012] <http://www.milenio.com/cdb/doc/noticias2011/6005377bc4d592d8aa3c9a76665d6045>
- Fernández R., Palomar A., C. Flores, E. Rozillio Y A. Gómez, 2000. “Daño broncopulmonar por inhalación masiva de amoníaco.” An Med Asoc Med Hosp ABC 3: pág. 128-133 [Citado noviembre 22 de 2012] <http://www.medigraphic.com/pdfs/abc/bc-2000/bc003e.pdf>

Gisbert J. A. y Villanueva E., 2005. "Tratado de medicina Legal y Toxicología" Pág. 857-858. [Citado diciembre 10 de 2012] <http://books.google.com.mx/books?id=MfL2NT12iAQC&pg=PA85&dq=TOXICOLOGIA+DEL+AMONIACO&lr=&sig=ACfU3U0oanZFPRS77II2InxFEfoPkA7kQA#PPA858,M1>

Instituto Nacional de Ecología (INE), 2007. "Clasificación de las actividades riesgosas." SEMARNAT. [Citado diciembre 22 de 2012]

Ibarreen O., G. C., 2001. "Cuadernos de cirugía (Valdivia)." V: 15, pág. 61-69. [Citado noviembre 28 de 2012] http://mingaonline.uach.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S071828642001000100012&lng=es&nrm=iso

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA), 2011. "AGENDA ECOLOGICA." Pág. 145-149 [Citado diciembre 16 de 2012] www.libreriaief.com.mx

OIT, H., 1991. "International Chemical Safety Cards, Ammonia (Anhydrous)." International Labour Organization (ILO) [Citado diciembre 13 de 2012] http://www.ilo.org/public/english/protection/safework/cis/products/icsc/dtasht/_icsc04/ics0414.htm

Organización Mundial de la Salud (OMS). 1986. "Environmental Health Criteria, V: 54, Ammonia". OSHA [Citado enero 15 de 2012] <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc54.htm>

OSHA, 1978, "Occupational Safety and Health Guideline for ammonia." OSHA [Citado diciembre 08 de 2012] <http://www.cdc.gov/niosh/pdfs/0028-rev.pdf>

PNUMA., 1992 “Identificación y evaluación de riesgos en una comunidad local.”
[Citado enero 12 de 2012]

PNUMA., 1999. “Evaluación de riesgos químicos.” PNUMA. [Citado enero 14 de 2012]

<http://www.semarnat.gob.mx/gestionalambiental/Materiales%20y%20Actividades%20Riesgosas/sitioscontaminados/PNUMA/PNUMA.pdf>

RAE., 1992. “Diccionario de la Lengua Española.” Real Academia Española.
[Citado octubre 24 de 2012] <http://buscon.rae.es/drae/>

SECRETARIA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES
(SEMARNAT), 2002. “Guía para la presentación del estudio de riesgo ambiental Nivel 2.” INE 2. [Citado diciembre 28 de 2012] www.ine.gob.mx

Servicio de Protección Civil Barcelona, 2002. “Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno.” [Citado septiembre 28 de 2012]
http://www.bcn.es/prteccio_civil/es/informacion/omaia/guiaomaia.pdf

SECRETARIA DEL TRABAJO Y PREVISION SOCIAL, 1999. NOM-010-STPS-1999, “Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.” [Citado noviembre 23] <http://stps.gob.mx/DGSST/normatividad/noms/Nom-010.pdf>

Vargas F. M., 1996. “Prevención y control de riesgos de los productos químicos.” [Citado enero 13 de 2012]
http://www.msc.es/gl/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/revista_cdrom/VOL70/70_4_409.pdf

Yarto M., I. Ize y Gavilán A., 2003. "El universo de las sustancias químicas peligrosas y su regulación para manejo adecuado, Dirección de Investigación sobre Sustancias Químicas y Riesgos Ecotoxicológicos, DGICURG." INE, pág. 57-66. [Citado noviembre 20 de 2012] <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/539/53906904.pdf>

X. ANEXOS

ANEXO 1

Los datos del sitio

Ubicación: ANAHUAC, NUEVO LEON, MEXICO

Construcción del aire por hora: 1,99 (protegido solo storied)

Hora: 31 de enero 2013 ST 2222 horas (especificado por el usuario)

Los datos químicos

Nombre químico: Peso Molecular AMONIACO: 17,03 g / mol

ERPG-1: 25 mg/kg⁻¹ ERPG-2: 150 mg/kg⁻¹ ERPG-3: 750 mg/kg⁻¹

IDLH: 300 mg/kg⁻¹ LEL: 160000 mg/kg⁻¹ UEL: 250000 mg/kg⁻¹

Punto ambiente de ebullición: -36,1 ° C

Presión de vapor a temperatura ambiente: mayor que 1 atm

Concentración de saturación ambiente: 1.000.000 ppm o% 100,0

Los datos atmosféricos: (introducción manual de datos)

Viento: 12,7 m / s desde NNE a 3 metros

Rugosidad baja: Tapa abierta Nube país: 3/10

Temperatura del aire: 23,3 ° C Estabilidad Clase: D

Ninguna Altura Inversión. Humedad relativa: 38%.

La fuerza de la fuente

Fuga del agujero en el tanque cilíndrico horizontal

Químico inflamable escapar de tanque (no flamable)

Diámetro del tanque: 1.576 metros Longitud del tanque: 4,54 metros

Volumen del depósito: 8,86 metros cúbicos

Tanque contiene la temperatura interna líquida: 23,3 ° C

La masa química en el tanque: 4.411 kilogramos

Tanque es de 82% lleno

Diámetro de apertura circular: 0.78 pulgadas

La apertura es 1,58 metros de fondo del tanque

Suelte la duración: ALOHA limitó la duración de 1 hora

Max Tasa media de liberación sostenida: 17,9 kg / min

(Promedio durante un minuto o más)

Monto Total de lanzamiento: 587 kilogramos

Nota: El producto químico se escapó del tanque como un gas.

La zona de amenaza:

Modelo: Gaussian

Rojo: 56 metros --- (750 ppm = ERPG-3)

Naranja: 128 metros --- (150 ppm = ERPG-2)

Amarillo: 332 metros --- (25 ppm = ERPG-1)

La amenaza en un punto

Concentración de Presupuestos en el punto:

A favor del viento: 500 metros de línea central: 100 metros

Max Concentración: Exterior: 0.453 mg/kg-1 Interior: 0,201 mg/kg-1

ANEXO 2

Los datos del sitio

Ubicación: ANAHUAC, NUEVO LEON, MEXICO

Construcción del aire por hora: 2,28 (protegido solo storied)

Hora: 31 de enero 2013 ST 2222 horas (especificado por el usuario)

Los datos químicos

Nombre químico: Peso Molecular AMONIACO: 17,03 g / mol

ERPG-1: 25 mg/kg⁻¹ ERPG-2: 150 mg/kg⁻¹ ERPG-3: 750 mg/kg⁻¹

IDLH: 300 mg/kg⁻¹ LEL: 160000 mg/kg⁻¹ UEL: 250000 mg/kg⁻¹

Punto ambiente de ebullición: -36,1 ° C

Presión de vapor a temperatura ambiente: mayor que 1 atm

Concentración de saturación ambiente: 1.000.000 ppm o% 100,0

Los datos atmosféricos: (introducción manual de datos)

Viento: 14,5 metros / segundo desde NNE a 3 metros

Rugosidad baja: Tapa abierta Nube país: 3/10

Temperatura del aire: 30.01 ° C Estabilidad Clase: D

Ninguna altura de la inversión. La humedad relativa: 55%

La fuerza de la fuente

Fuga del agujero en el tanque cilíndrico horizontal

Químico inflamable escapar de tanque (no inflamable)

Diámetro del tanque: 1.576 metros Duración del tanque: 4,54 metros

Volumen del depósito: 8,86 metros cúbicos

El tanque contiene la temperatura interior líquida: 30,01 ° C

La masa química en el tanque: 4.411 kilogramos

Tanque es de 84% de su capacidad

Diámetro de apertura circular: 0.78 pulgadas

La apertura es 1,58 metros de fondo del tanque

Duración: ALOHA limitó la duración de 1 hora

El promedio máximo que Sostuvo la proporción del descargo: 21,9 kg / min

(Promedio durante un minuto o más)

Monto Total de lanzamiento: 675 kilogramos

Nota: El producto químico se escapó del tanque como un gas.

La zona de amenaza:

Modelo: Gaussian

Rojo: 58 metros --- (750 ppm = ERPG-3)

Naranja: 134 metros --- (150 ppm = ERPG-2)

Amarillo: 351 metros --- (25 ppm = ERPG-1)

La amenaza en un punto

Concentración de Presupuestos en el punto:

A favor del viento: 500 metros de línea central: 100 metros

Concentración máxima: Exterior: 0.498 mg/kg^{-1} Interior: $0,217 \text{ mg/kg}^{-1}$

ANEXO 3

Los datos del sitio

Ubicación: ANAHUAC, NUEVO LEON, MEXICO

Construcción del aire por hora: 1,94 (protegido solo storied)

Hora: 31 de enero 2013 ST 2222 horas (especificado por el usuario)

Los datos químicos

Nombre químico: Peso Molecular AMONIACO: 17,03 g / mol

ERPG-1: 25 ppm ERPG-2: 150 ppm ERPG-3: 750 ppm

IDLH: 300 ppm LEL: 160000 ppm UEL: 250000 ppm

Punto ambiente de ebullición: -36,1 ° C

Presión de vapor a temperatura ambiente: mayor que 1 atm

Concentración de saturación ambiente: 1.000.000 ppm o% 100,0

Los datos atmosféricos: (introducción manual de datos)

Viento: 12,4 metros / segundo desde NNE a 3 metros

Rugosidad baja: Tapa abierta Nube país: 3/10

Temperatura del aire: 22,5 ° C Estabilidad Clase: D

No Humedad relativa Altura Inversión: 55%

La fuerza de la fuente

Fuga del agujero en el tanque cilíndrico horizontal

Químico inflamable escapar de tanque (no quema)

Diámetro del tanque: 1.576 metros Duración del tanque: 4,54 metros

Volumen del depósito: 8,86 metros cúbicos

Tanque contiene líquido temperatura interna: 22,5 ° C

Química Misa en depósito: 4.411 kilogramos

Tanque es de 82% de su capacidad

Diámetro de apertura circular: 0.78 pulgadas

La apertura es 1,58 metros de fondo del tanque

Duración: ALOHA limitó la duración de 1 hora

El promedio máximo sostenida: 17,4 kg / min

(Promedio durante un minuto o más)

La cantidad total soltó: 583 kilogramos

Nota: El producto químico se escapó del tanque como un gas.

La zona de amenaza

Modelo: Gaussian

Rojo: 55 metros --- (750 ppm = ERPG-3)

Naranja: 127 metros --- (150 ppm = ERPG-2)

Amarillo: 332 metros --- (25 ppm = ERPG-1)

La amenaza en un punto

Concentración de Estimada en el punto:

A favor del viento: 500 metros de línea central: 100 metros

Máxima Concentración: Exterior: 0.451 mg/kg^{-1} Interior: $0,197 \text{ mg/kg}^{-1}$

XI. GLOSARIO

ERPG: Contestación de la emergencia que planea la pauta, un nivel de preocupación que presenta la salud adversa efectúa de una sustancia arriesgada en los miembros del público general. Los ERPGs se desarrollan por el comité de ERPG de la Asociación de Higiene Industrial americana.

IDLH: Inmediatamente Peligroso a la vida y salud, un nivel de preocupación para los obreros adultos; estime de la concentración más alta de que el escape es posible sin la lesión permanente. Los IDHLs se establecieron por el Instituto Nacional para la Seguridad Protección y Salud.

LEL: Baje límite explosivo o el más bajo límite de inflamabilidad. La concentración más baja de un vapor inflamable en aire a que explosión o combustión pueden ocurrir.

UEL: Limite explosivo superior o el límite de inflamabilidad superior. La concentración más alta de un vapor inflamable en aire a que explosión o combustión pueden ocurrir.

TLV: El valor de limite de umbral (el Valor Limite Umbral).

PEL: El límite de la explosión permisible (Límite Permisible de Explosión).

STEL: El tiempo de exposición límite corto (Límite de Exposición en Periodos Cortos).