

Universidad de Matanzas
Sede "Camilo Cienfuegos"
Facultad de Ciencias Técnicas
Departamento de Química



TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis presentada en opción al título de ingeniero químico.

TÍTULO: EVALUACIÓN DE ATMÓSFERAS TÓXICAS A PARTIR DE POSIBLES ACCIDENTES POR ESCAPES DE AMONÍACO Y BISULFURO DE CARBONO EN LA CIUDAD DE MATANZAS.

Autora: Hildalia García Sánchez

Tutor: MSc. Santiago Díaz Suárez.

Matanzas, Cuba, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Hildalia Sánchez, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Hildalia García Sánchez

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma

“El científico explora lo que existe y el ingeniero crea lo que nunca ha existido”.

Theodore Von Karman.

Dedicatoria.

A mi hija, por ser mi luz y mi fuerza en los momentos más difíciles.

A toda mi familia por sus consejos, motivaciones y sobre todo por el cariño que me han brindado toda mi vida.

Agradecimiento.

Quiero agradecer a todas las personas que me ayudaron de una forma u otra a transitar este largo camino:

A toda mi familia, por su apoyo incondicional, su cariño y ayuda en todo momento.

A mi hija, por todos los momentos de amor y felicidad que me dan la fuerza que necesito.

A mi tutor Santiago, por su paciencia y dedicación.

A mis compañeros de aula, por todos los buenos momentos que pasamos juntos.

A todos los profesores que contribuyeron a mi formación como profesional.

RESUMEN

El presente trabajo de diploma se realiza en la empresa Rayonitro, ubicada en la zona industrial, de la provincia de Matanzas y en el Frigorífico Los Molinos, ubicado en la carretera de la circunvalación. En el mismo se describe el procedimiento para determinar, mediante el empleo del software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), las áreas de atmósferas peligrosas que pueden originarse por un posible escape de bisulfuro de carbono o amoníaco en los tanques de almacenamiento de estas dos instalaciones, y se definen las afectaciones que pueden provocar la dispersión tóxicas de estas sustancias, en el entorno poblacional. Los resultados de este trabajo serán de utilidad para estos establecimientos y para los órganos de la defensa civil en la conformación de un plan futuro de medidas de prevención y protección frente a eventos de esta índole.

ABSTRACT

The present diploma work is carried out in the company Rayonitro, located in the industrial area, of the county of Matanzas and in the South Refrigerator, located in the highway of the circumvallation. In the same one the procedure is described it leaves they determine, by means of the employment of the software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), the areas of dangerous atmospheres that can originate for a possible escape of bisulfuro of carbon or ammonia in the tanks of storage of these two facilities, and they are defined the affectations that can cause the toxic dispersion of these substances, in the populational environment. The results of this work will be of utility for these establishments and for the organs of the civil defense in the conformation of a future plan of measures of prevention and protection in front of events of this nature.

Índice.

Introducción.....	11
Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.....	14
1.1 Generalidades.....	14
1.2 Métodos para el Análisis de Riesgos Industriales.....	21
1.2.1 Métodos comparativos.....	24
1.2.2 Métodos Generalizados.....	25
1.2.3 Métodos cuantitativos.....	27
1.3 Clasificación toxicológica de las sustancias.....	27
1.3.1 Gestión de la prevención de los riesgos químicos.....	32
1.3.2 La distribución de contaminantes químicos en la atmósfera.....	33
1.3.3 La temperatura y la humedad relativa.....	35
1.4 Programas informáticos más usados.....	35
1.5 Ecuaciones Probit.....	40
1.6 Conclusiones Parciales.....	40
Capítulo 2. Materiales y Métodos.....	41
2.0 Caracterización de las instalaciones.....	41
2.1 Caracterización de la Empresa Rayonitro de Matanzas.....	41
2.2 Caracterización de la UEB Frigorífico Los Molinos.....	42

2.3 Caracterización toxicológica del Bisulfuro y el Amoníaco.....	42
2.4Caracterización y particularidades del Software ALOHA.....	53
2.5 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el Software ALOHA...	57
2.6 Método Probit	61
2.6.1 Vulnerabilidad a la inhalación de sustancias tóxicas.....	61
Conclusiones.....	64
Recomendaciones.....	64
Bibliografía.....	65
Anexos	69

Introducción.

El desarrollo técnico-económico de un país determina la necesidad de crear una industria que permita asegurar la materia prima, por una parte y la elaboración y almacenamiento de productos y sustancias necesarias para el consumo interno y para la exportación, por la otra. Para lograr este desarrollo, la industria química y biotecnológica ha tenido un fuerte incremento en los últimos años.

La producción y el almacenamiento de sustancias químicas vinculadas a las industrias e instalaciones de almacenamiento, implica una mayor riesgo de accidentes químicos, ya que por ser son tóxicas y/o explosivas pueden provocar además de un desastre de origen tecnológico, una seria afectación al entorno poblacional, donde se ubican estas instalaciones de almacenamiento o productivas.

Existen diferentes premisas que pueden originar desastres de origen tecnológico, todas parten de una situación de peligro que por alguna razón se convierte en una situación de riesgo que debido a la forma en que se desarrolla y por sus dimensiones de ocurrencia llega a convertirse en un desastre que trae como consecuencia pérdidas, materiales, y/o humanas y daños al medio ambiente.

Por esta razón en los últimos años se le ha otorgado al estudio de riesgos industriales un espacio importante en buena parte del mundo. En Cuba en particular la prevención de desastres de cualquier tipo siempre ha sido una preocupación permanente del estado.

Sin embargo estos sistemas de vigilancia han venido mostrando a partir 1990 un importante deterioro que se ha manifestado de forma más contundente en la red de monitoreo de la calidad del aire a escala local, la que a pesar de ser insuficiente en años anteriores, hoy prácticamente ha dejado de existir, lo que propicia el desconocimiento en buena medida de la magnitud en que se afecta la atmósfera, y los efectos de esta contaminación sobre la salud humana, la flora, la fauna, los suelos, los ríos y lagos, la infraestructura constructiva, las obras de arte, entre otros.

Para Matanzas en particular según Perera, (2006) la vigilancia de la atmósfera se viene desarrollando en la provincia desde hace más de 35 años, principalmente por el Centro Provincial de Meteorología y su red de estaciones que ejecutan los programas de vigilancia a escala regional y local tanto meteorológica, climática, como de la calidad del aire basado en el programa establecido para el Sistema de Vigilancia de la Atmósfera Global (VGA) y por el Centro de Protección de Higiene y Epidemiología (CPHE) que tiene a su cargo la red de monitoreo territorial de la calidad del aire en los asentamientos urbanos (RED AIRE), según lo establecido por la OMS.

Sin embargo, poco se conoce acerca de la predicción de la afectación que pudieran originar posibles accidentes químicos sobre las zonas aledañas a estas industrias por escapes de sustancias tóxicas. Motivado por esta situación es que se enuncia el siguiente problema científico:

Problema científico: ¿Cómo determinar el peligro potencial que puede representar, para el entorno poblacional, posibles escapes de amoníaco y bisulfuro de carbono en las zonas objeto de estudio?

Hipótesis científica: Si se emplea el software ALOHA, será posible estimar las áreas que pudieran ser afectadas ante posibles accidentes químicos en las zonas objeto de estudio y las concentraciones de productos químicos que existirán en ellas.

Objetivo general: Estimar cuáles serán las áreas que potencialmente pudieran ser dañadas, ante posibles accidentes por escapes químicos que ocurran con amoníaco y bisulfuro de carbono, en las zonas estudiadas de la ciudad de Matanzas.

1. Para cumplimentar el objetivo propuesto se plantean las siguientes tareas:
2. Descripción de las instalaciones de producción y/o almacenamiento.
3. Recopilación de los principales indicadores de salud de la población vinculada a la zona de estudio.
4. Caracterización de los productos químicos peligrosos.

5. Estimación, a través del uso del software ALOHA, las áreas que pudiera afectar al personal que elabora en estas instalaciones, así como al entorno poblacional de las mismas.
6. Aplicación de un método para cuantificar las afectaciones por formación de una nube tóxica de las diferentes sustancias en las zonas estudiadas.

Capítulo 1: Análisis bibliográfico.

En el presente capítulo se realiza una revisión de los principales aspectos vinculados a la temática investigada. Se enuncian términos y definiciones que resultan de gran importancia en relación con la identificación de los peligros tecnológicos y la evaluación de riesgos, en instalaciones en que se manipulan sustancias peligrosas. Además, se describen los principales métodos disponibles para evaluar riesgos en una industria química.

1.1 Generalidades.

Peligro

Para PNUMA/IPSC (1999) es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de éstas o procesos que involucran sustancias, bajo ciertas condiciones de producción, causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición. Por su parte Troncoso (2010) define al peligro no como una posibilidad sino como el potencial físico o químico que tiene una sustancia, actividad, equipo o estructura para causar daños a las personas, a las instalaciones y/o al medio ambiente.

Riesgo:

Según Casal *et al.*, (2001) es la “situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento”, o bien “probabilidad de que suceda un determinado peligro potencial” (entendiendo por peligro una situación física que puede provocar daños a la vida, a los equipos o al medio), o aún, “consecuencias no deseadas de una actividad dada, en relación con la probabilidad de que ocurra”.

Es interesante la diferencia entre riesgo y peligro. Puede definirse el peligro como aquello que puede producir un accidente o un daño. El riesgo, sin embargo, estaría asociado a la probabilidad de que un peligro se convierta realmente en un accidente con unas consecuencias determinadas. Si bien en la

terminología anglosajona estos dos términos están diferenciados, en castellano se suelen utilizar de forma indistinta.

De igual manera la autora considera que ambos términos a pesar de sus diferencias representan el posible daño que se presenta tanto para los bienes materiales, económicos y sociales, pero fundamentalmente a la población y el medio ambiente dispuestos en los alrededores.

Debido a la gran variedad de riesgos, se han propuesto diversas clasificaciones; desde un punto de vista general, se pueden clasificar en las tres categorías siguientes:

- Riesgos de categoría A: son los inevitables y aceptados, sin compensación (por ejemplo, morir fulminado por un rayo).

- Riesgos de categoría B: evitables, en principio, pero que deben considerarse inevitables si uno quiere integrarse plenamente en la sociedad moderna (por ejemplo: morir en un accidente aéreo o de automóvil).

- Riesgos de categoría C: normalmente evitables, voluntarios y con compensación (por ejemplo: practicar un deporte peligroso).

Como referencia, y para eventuales comparaciones, la tabla 1.1 presenta una estimación del valor de algunos riesgos (mortalidad) asociados a la vida ordinaria.

Debe tenerse en cuenta que estos datos estadísticos, que a menudo aparecen en la bibliografía, pueden variar de una fuente a otra, y que como todas las estadísticas deben interpretarse con buen criterio. Si han sido elaborados con seriedad, sin embargo, el orden de magnitud suele ser el mismo.

Debe resaltarse que en la misma tabla hay causas de muerte de características totalmente diferentes: algunas, como por ejemplo la caída de meteoritos o la acción de los rayos, afectan prácticamente por un igual a toda la población de un país, mientras que otras, como viajar en avión o en motocicletas sólo afectan a un sector determinado; por otra parte, en la tabla hay hechos que

causan la muerte repentina junto a hechos que en realidad lo que hacen es reducir la esperanza de vida, y también hechos involuntarios y otros provocados voluntariamente: suicidarse no es en realidad un riesgo sino un acto voluntario.

Tabla 1.1: Estimación del valor de algunos riesgos.

<i>actividad/suceso</i>	<i>año y por persona</i>	<i>mortalidad por persona</i>
Caida de meteoritos	$6,0 \times 10^{-11}$	1 de 17.000 millones
Explosiones de recipientes a presión	$5,0 \times 10^{-8}$	1 de 20 millones
Viajar en avión	$1,0 \times 10^{-7}$	1 de 10 millones
Fulminados por un rayo	$1,0 \times 10^{-7}$	1 de 10 millones
Mordedura de serpiente venenosa	$2,0 \times 10^{-7}$	1 de 5 millones
Viajar en tren	$5,0 \times 10^{-7}$	1 de 2 millones
Rotura de presas	$1,0 \times 10^{-6}$	1 de 1 millón
Tomado (Midwest), terremoto (California)	$2,0 \times 10^{-6}$	1 de 500.000
Ahogados	$4,0 \times 10^{-5}$	1 de 25.000
Atropello por automóvil	$5,0 \times 10^{-5}$	1 de 20.000
Abuso del alcohol	$7,5 \times 10^{-5}$	1 de 13.300
Suicidio	$1,0 \times 10^{-4}$	1 de 10.000
Viajar en automóvil	$1,7 \times 10^{-4}$	1 de 5.900
Viajar en motocicleta	$1,0 \times 10^{-3}$	1 de 1.000
Fumar (más de 20 cigarrillos/día)	$5,0 \times 10^{-3}$	1 de 200

Fuente: Casal (2001)

Según Casal, (2001) desde el punto de vista más concreto de las actividades industriales, los riesgos pueden clasificarse en otras tres categorías:

- * Riesgos convencionales: relacionados con la actividad y el equipo existentes en cualquier sector (electrocución, caídas).
- * Riesgos específicos: asociados a la utilización o manipulación de productos que, por su naturaleza, pueden ocasionar daños (productos tóxicos, radioactivos).
- * Riesgos mayores: relacionados con accidentes y situaciones excepcionales. Sus consecuencias pueden presentar una especial gravedad ya que la rápida expulsión de productos peligrosos o de energía podría afectar a áreas considerables (escape de gases, explosiones).

De estos tres tipos de riesgos, los dos primeros corresponden al tratamiento clásico de la seguridad e higiene en el trabajo, y por su forma de actuar son en general relativamente fáciles de prever. Por el contrario, las características

especiales de los riesgos mayores los convierten probablemente en la contingencia más temible. Actuando con una severidad a veces extrema, estos accidentes pueden tener una característica muy importante: la de ultrapasar los límites de la instalación e incidir sobre la población externa y sobre el medio ambiente.

Son estas características de los riesgos mayores las que han contribuido esencialmente a conferir a la industria química una imagen de peligrosidad y han desarrollado un cierto sentimiento de rechazo en la sociedad. También se les debe atribuir el esfuerzo realizado actualmente para la prevención de estos riesgos.

En la industria química en cuestión pueden ocurrir un sinnúmero de accidentes los que pueden traer consigo graves consecuencias debido al elevado porcentaje de riesgos que presenta la misma entre los cuales podemos resaltarlos incendios, escapes y las explosiones.

Incendios:

Según Casal *et al.*, (2001) entre los diversos accidentes que pueden ocurrir en una industria, el incendio es el que, en términos generales, tiene un radio de acción menor. No obstante, sus efectos pueden ser temibles, ya que la radiación térmica puede afectar a otras partes de la planta y generar nuevos accidentes (explosiones o escapes). Por otra parte, el humo puede, además, complicar notablemente la actuación de los equipos de intervención y someterlos a un peligro adicional (falta de visibilidad o intoxicación).

En el Manual de Documentos de Seguridad y Salud en el Trabajo (2015), Medina plantea que un incendio es un proceso de combustión no organizado que trae consigo pérdidas de bienes materiales y en ocasiones de vidas humanas. Es el proceso del fuego cuando se propaga de una forma descontrolada en el tiempo y en el espacio.

PNUMA (1999) plantea que, obviamente, se debe evitar todo tipo de fuego, ya que éste representa un peligro, y es necesario considerar equipo y herramientas resistentes a las llamas y chispas; también se debe tomar en

cuenta la eliminación de posibles fuentes de electricidad estática. Además, se debe disponer de un equipo de extinción de incendios apropiado tanto para el peligro como para el área.

Explosiones:

Según Wells *et al.*, (2003) el proceso de explosión ocurre mucho más rápido que el fuego debido a que los reactantes ya se encuentran mezclados cuando la ignición tiene lugar, esto ocurre generalmente cuando el combustible es un gas, un vapor o un líquido o sólido finamente dividido es decir aerosol y polvo. Las explosiones pueden ser físicas, químicas o eléctricas.

PNUMA (1999) plantea que la precaución principal que se debe tomar en el caso de los gases inflamables y vapores es mantener sus concentraciones fuera de los límites de inflamabilidad.

Cuando es probable que estas concentraciones surjan de manera inadvertida, se debe tratar de mantenerlas por debajo de un cuarto del límite inferior de inflamabilidad y proveer la seguridad adecuada en caso de explosiones.

García-Roca *et al.*, (1993) define la explosión como “el equilibrio en un breve período de tiempo de una masa de gases en expansión contra la atmósfera que la envuelve. Si la energía necesaria para la expansión de los gases procede de una reacción química, se dice que la explosión es química; es el caso de las explosiones derivadas de fenómenos de combustión donde están involucrados gases inflamables, de explosiones derivadas de reacciones incontroladas y de explosiones asociadas a la ignición o descomposición de sustancias explosivas. Si la energía procede de la liberación repentina de un gas comprimido o de la expansión rápida de vapores, se trata de una explosión física”.

Casal *et al.*, (2001) la define como “una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía. Esta liberación tiene que ser, no obstante, bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible. No es necesario, pues, que se produzcan daños para poder considerar este

fenómeno como explosión. La energía liberada puede haber sido almacenada inicialmente bajo una gran variedad de formas: nuclear, química, eléctrica o de presión". Pueden ser de dos tipos: deflagraciones y detonaciones. En una deflagración, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es subsónica; la onda de presión tiene una fase positiva y una fase negativa. En una detonación, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es supersónica; la onda de sobrepresión muestra un incremento de la presión casi instantáneo hasta el pico de máxima presión, presenta también una fase positiva y otra negativa".

Existen varios tipos de explosiones accidentales como son:

- Explosiones de vapores confinados.
- Explosiones de nube de vapor no confinadas.
- Explosiones de recipientes.
- Explosión por ignición de polvo combustible en suspensión.
-

Escapes de gas:

Casal *et al.*, (2001) plantea que los accidentes de gran magnitud que pueden ocurrir en una industria química están casi siempre asociados al escape de un producto tóxico o inflamable, generalmente un fluido; sin embargo, algunos accidentes, por ejemplo, las explosiones de atmósferas de polvo pueden suceder en el interior del equipo sin que se produzca un escape. El escape de un fluido hacia la atmósfera puede producirse por diversas razones: por rotura de una conducción, por explosión de un recipiente a presión, por rebosamiento de un depósito, etc. Según la forma de salida y las características del fluido puede dar lugar a un incendio, una nube tóxica o inflamable, etc. Si el escape es de líquido, se formará un charco siempre en función de la disposición del terreno y habrá evaporación; si el producto es combustible, puede tener lugar directamente un incendio del líquido vertido, o bien puede transformarse en una nube que se inflamará al encontrar un punto de ignición, con la explosión consiguiente.

Nubes tóxicas:

Para Vílchez, (2001) son escenarios que determinan fenómenos peligrosos asociados a la concentración de una sustancia emitida al ambiente (de tipo térmico para sustancias inflamables y de tipo químico para sustancias tóxicas). Un escape de un producto tóxico o inflamable en forma gaseosa, o bien en forma líquida en condiciones de ser vaporizado, produce una nube de gas. Esta nube, según sea la velocidad de salida del producto, se comporta como:

- Un chorro gaseoso: en este caso, la dispersión del producto depende de la velocidad y de la presión de salida. Cuando el gas o vapor está suficientemente diluido y su velocidad es menor que la velocidad del viento, se dispersará a corta distancia en función de las condiciones meteorológicas.

La dispersión atmosférica: la nube, en función de las condiciones meteorológicas, se extiende y se desplaza mientras se va diluyendo. Las áreas de terreno que quedan bajo el efecto de esta nube sufrirán las consecuencias del producto contaminante, que en algunas ocasiones pueden ser muy graves.

Según plantea Montenegro R. (2008), entre los accidentes más graves que pueden ocurrir está la dispersión de nube tóxica, este incluso representa un riesgo mayor que los incendios y las explosiones ya que afecta a un área más amplia. Según explica el director del Centro de Coordinación de Emergencias de Andalucía, Francisco Huelva, el más grave de ellos sería la dispersión por nube tóxica por el amplio diámetro de afección, ya que al hecho del escape de una sustancia química se unirían factores meteorológicos como el viento o la estabilidad atmosférica, también contemplados en el Plan de Emergencia Exterior del Sector Químico de Huelva. En el incendio, el suceso que se considera más frecuente, también influyen estas cuestiones meteorológicas (en la expansión del humo), pero es más fácilmente controlable, mientras que una explosión ocurre y ya marca el área a la que ha afectado.

1.2- Métodos para el análisis de Riesgo Industriales:

Según Casal *et al.*, (2001) la evaluación de los diversos riesgos asociados a una determinada instalación industrial o, incluso, al transporte de mercancías peligrosas, se lleva a cabo, como ya se ha dicho anteriormente, mediante el análisis de riesgos, orientado a la determinación -con una aproximación razonable- de los aspectos siguientes:

- Accidentes que pueden ocurrir.
- Frecuencia de estos accidentes.
- Magnitud de sus consecuencias.

Actualmente existe una gran variedad de técnicas y métodos de análisis de riesgos industriales entre las que podemos plantear las técnicas de simple recolección y análisis de información, a su vez la recolección de datos estadísticos para un análisis profundo de los riesgos existentes basándose en un método científico el cual según la actividad que desempeñe funciona de una manera aceptable o no.

Vílchez *et al.*, (1999) plantea que para evaluar el riesgo se estudian esencialmente los acontecimientos internos, es decir, aquellos que tienen su origen en la propia industria. Simultáneamente se estudian también los acontecimientos denominados externos, tanto los de origen natural (terremotos, inundaciones) como artificial (explosiones, incendios o nubes procedentes de plantas vecinas, accidentes de carretera) capaces de originar posteriores emergencias internas.

Para estudiar los posibles accidentes internos, en primer lugar, se efectúa un análisis histórico. Es decir, se estudian los accidentes ocurridos en fábricas, procesos, instalaciones u operaciones parecidas a la que se está analizando. Este estudio facilita el establecimiento a priori de los puntos débiles del sistema.

Según Casal *et al.*, (2001) el primer paso es el estudio de los denominados acontecimientos externos, es decir, de los peligros que pueden venir de fuera del sistema analizado (por ejemplo, una inundación, una nube tóxica procedente de una fábrica vecina, o un vehículo que se sale de la carretera y, entrando en el recinto de la planta, choca contra un depósito). Este estudio no supone ningún procedimiento especial en sí mismo, se trata simplemente de analizar, con buen criterio, todos los peligros posibles.

Referente a los propios peligros del sistema, la primera forma de analizarlos es el análisis histórico; consiste en el estudio de los accidentes ocurridos previamente en sistemas que presentaban alguna similitud con el que se está analizando.

El análisis histórico, llevado a cabo de forma muy rápida y simple mediante la consulta de un banco de datos informatizado, puede dar de forma muy directa algunos puntos débiles del sistema, o indicar los peligros presumiblemente más esperados. No es, sin embargo, un método que permita explorar sistemáticamente los peligros de una determinada instalación. Por esta razón debe ser complementado con otro procedimiento que implique una exploración exhaustiva de todos los orígenes posibles de accidentes. Es el llamado HAZOP (de *HAZad and OPerability analysis*) o análisis de riesgo y operabilidad. Hay otros métodos que permiten realizar análisis similares, pero el HAZOP, con sus diversas variantes, es el más utilizado.

Una vez identificados los peligros, deben cuantificarse todas sus consecuencias posteriores. Para calcular sus efectos (es decir, radiación térmica en función del tiempo y la distancia, onda de sobrepresión, distribución de concepciones en la atmósfera, etc.) se utilizan modelos matemáticos de los accidentes. Aquí hay que tener en cuenta que lo que se realizan son cálculos aproximados; la palabra estimación resulta, pues, más apropiada que cálculo.

Conocidos ya los valores aproximados de los efectos, debe establecerse cuáles serán las consecuencias cuando éstos incidan en personas, en bienes o en el entorno; debe estimarse, pues, cuál será el número de muertos y de heridos, cuál será la destrucción provocada en edificios y equipos, y cuál será

el impacto sobre el entorno cuando un accidente determinado se produzca en un lugar determinado. Esto se suele realizar mediante los denominados modelos de vulnerabilidad, que relacionan efectos y consecuencias.

Si el análisis se da por finalizado aquí, se habrá hecho simplemente un tratamiento de tipo determinante: establecimiento de los peores accidentes que pueden ocurrir y estimación de sus consecuencias. Para estimar de forma completa el riesgo, según la definición cuantitativa dada al inicio de este capítulo, debe hacerse un análisis más completo realizando, además, un tratamiento de tipo probabilístico. Para llevar a cabo esto, que en definitiva equivale a estimar la frecuencia con que probablemente se producirá el accidente (si llega a ocurrir), el instrumento más utilizado es el análisis cuantitativo de los denominados árboles de fallos.

El árbol de fallos es un esquema de las secuencias o concatenaciones de sucesos que deben producirse para que tenga lugar un “suceso no deseado” o accidente. Mediante este tipo es posible “descender” desde el accidente hipotético hasta acontecimientos mucho más simples, que comúnmente suceden en cualquier instalación industrial. En estos incidentes “primarios” es posible, conocer la frecuencia del fallo (o la probabilidad de fallo en un momento dado).

Esto permite, mediante la combinación lógica de frecuencias y/o probabilidades, estimar la frecuencia con que presumiblemente sucederá el accidente. De este modo se llega a obtener un valor para el riesgo de un accidente determinado. Si este valor es demasiado alto, se debe modificar el proyecto o la instalación (o el método de trabajo) hasta conseguir un riesgo considerado tolerable.

Según Pacheco J. *et al.*, (2013) las técnicas para la estimación de riesgo se clasifican de la siguiente manera:

- ✓ Cualitativas: Se encargan principalmente de identificar y describir los riesgos existentes en una determinada área. Se caracterizan por no

recurrir a cálculos numéricos. Pueden ser métodos comparativos y métodos generalizados.

-Comparativos: Se basan en la utilización de técnicas obtenidas de análisis previos de accidentes similares o basados en experiencia adquirida.

-Generalizados: Se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo.

- ✓ Cuantitativas: Son aquellas en las cuales se le asigna un valor al nivel de riesgo, de forma que se pueda cuantificar y clasificar según su importancia. Se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas en una instalación basándose en una serie de índices que cuantifican daños. Entre estos se pueden citar: Índice de Dow, Índice de Mond y otros.

1.2.1- Métodos Comparativos:

Según Guirar *et al.*, (2008) se basan en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en establecimientos parecidos al que se encuentra siendo analizado, por lo cual se utilizan técnicas obtenidas de la experiencia adquirida en equipos e instalaciones similares existentes.

Métodos Comparativos empleados con mayor frecuencia:

- Análisis histórico de accidentes.
- Listas de comprobación.
- Análisis preliminar de peligros.

En general son métodos aplicados en la identificación de posibles riesgos en una instalación durante su etapa de diseño fundamentalmente porque requieren poca inversión en su realización y son adecuados para examinar los proyectos de transformaciones o plantas nuevas en una etapa inicial.

La ventaja principal que poseen es que detectan peligros reales que en el pasado se han puesto de manifiesto, pero pueden obviarse otros que también son potenciales, pero no han desencadenado en un accidente y por tanto no aparecen registrados. De igual manera los resultados obtenidos dependen

mucho de la disponibilidad de la información y de la calidad de ésta en las fuentes consultadas.

Listas de comprobación: Es una herramienta de ayuda en el trabajo diseñada para reducir los errores provocados por los potenciales límites de la memoria y la atención en el ser humano. Ayuda a asegurar la consistencia y exhaustividad en la realización de una tarea.

Para Bonilla Estrada J. *et al.*, (2007) este método está especialmente adaptado para garantizar el cumplimiento de normas o reglamentos técnicos y permite la reproducibilidad del análisis de forma periódica, permitiendo estudiar las desviaciones que se producen en el tiempo. No obstante, dependiendo de la calidad de la lista de comprobación o del grado con que se adapte a la planta analizada puede pasar por altos peligros evidentes no contemplados en las listas o incidir excesivamente en puntos que sin lugar a dudas no plantean peligros importantes. En ese sentido, no es un método creativo.

Análisis histórico de accidentes: Según Casal *et al.*, (2001) es una técnica identificativa orientada a la búsqueda de información de accidentes industriales ocurridos en el pasado. Esta técnica de análisis es esencialmente cualitativa pero también permite extraer resultados numéricos o cuantitativos si el número de accidentes es suficientemente significativo y permite un análisis estadístico.

El resultado principal de los análisis históricos de accidentes es una lista de accidentes que efectivamente han sucedido, por lo que el riesgo identificado es indudablemente real y permite el establecimiento de puntos débiles y operaciones críticas en instalaciones similares. Los resultados permiten dar una idea general del riesgo potencial de la instalación y verificar los modelos de predicción de efectos y consecuencias de accidentes con datos reales. El análisis histórico de accidentes es de aplicación limitada para instalaciones con procesos innovadores de los cuales no existe una experiencia previa.

1.2.2- Métodos Generalizados:

Para Pacheco *et al.*, (2013) son aquellos que se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista

lógico-deductivo. Estos procedimientos siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, entre otros, con la finalidad de obtener las causas y por ende las soluciones de los posibles eventos. Entre estos métodos podemos nombrar:

Análisis "*What if...?*": Carol *et al.*, (2001) señala que este método resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por lo tanto, económico). Sin embargo, aun realizándose de modo estructurado puede pasar por alto algunos menos evidentes, pero no por ello menos graves.

Según Orozco *et al.*, (2009) permite conducir un examen sistemático de una operación o un proceso en base a preguntas de ese tipo. Es una técnica de gran utilidad para la identificación de peligros. Este análisis requiere de un completo conocimiento del proceso a evaluar. Se debe preparar una lista de preguntas del tipo ¿Qué sucedería sí...? aplicadas a desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de la planta.

Análisis HAZOP: Según Casal *et al.*, (2001) es una técnica deductiva para la identificación, evaluación cualitativa y prevención del riesgo potencial y de los problemas de operación derivados del funcionamiento incorrecto de un sistema técnico.

Wells, G. *et al.*, (1997) plantea que las técnicas de HAZOP son inductivas y consisten en la identificación de riesgos basándose en la premisa de que los riesgos, accidentes o los problemas de operatividad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables del proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada.

Análisis de árbol de fallos: Para Casal *et al.*, (2001) el árbol de fallos es un esquema de las secuencias o concatenaciones de sucesos que deben producirse para que tenga lugar un "suceso no deseado" o accidente. Mediante este árbol es posible "descender" desde el accidente hipotético hasta acontecimientos mucho más simples (avería de una válvula, por ejemplo), que comúnmente suceden en cualquier instalación industrial. En estos incidentes

“primarios” es posible, conocer la frecuencia del fallo (o la probabilidad de fallo en un momento dado).

1.2.3- Métodos cuantitativos:

Para Vílchez *et al.*, (1999) con estas técnicas se consiguen dos objetivos: mejorar la seguridad de la planta, efectuando modificaciones en la misma (caso de plantas ya existentes) o en el proyecto (nuevas instalaciones), y simultáneamente identificar los posibles acontecimientos no deseados (accidentes).

Según lo anterior, se puede afirmar que, la importancia de seleccionar el método adecuado para identificar los riesgos dentro de nuestra organización debe venir acompañado por una evaluación inicial del nivel de riesgo de nuestra empresa, dependiendo de esto, se debe seleccionar si se requiere de la aplicación de un método cuantitativo, cualitativo, o de un método combinado para asegurar que sea satisfactorio.

Otro aspecto que no se debe dejar pasar por alto es la capacitación y la experticia del personal encargado de realizar la identificación de riesgos. Este factor contribuirá con el éxito del Programa de prevención de riesgos laborales y de la gestión de riesgos dentro de la empresa, para así asegurar la calidad de vida de nuestro capital humano y la productividad de la organización.

1.3- Clasificación toxicológica de las sustancias y características de las mismas.

La Asociación Española de Toxicología en el 2012 sugirió que la convivencia de las personas con riesgos e incertidumbres asociados al avance tecnológico es una de las características que definen la sociedad actual. Entre los riesgos tecnológicos, los de tipo químico, han concentrado especial preocupación por sus consecuencias para la salud pública. Aunque la mayoría de los incidentes químicos se producen en instalaciones industriales, cada año se declaran casos alarmantes por exposición a sustancias químicas peligrosas (**Gámez y Padilla**).

UPNA (2000) cuenta que una sustancia peligrosa es aquella que puede producir un daño a la salud de la persona o un perjuicio al medio ambiente. Estas sustancias tienen más de una vía de entrada al organismo humano; dígase respiratoria (a través de la nariz y la boca), digestiva (a través de la boca), parental (a través de heridas) o dérmica (a través de la piel).

Gonzales (2014-2015) especifica que la clasificación toxicológica de una sustancia viene dada por los efectos que esta puede llegar a provocar sobre el organismo humano, estos efectos pueden ser proporcional a la dosis, que se clasifican en asfixiantes, irritantes, corrosivos, pneumoconióticos, tóxicos generales, sensibilizantes, anestésicos y narcóticos; y no proporcional a la dosis, que se clasifican en cancerígenos, mutagénicos y teratógenos.

Para la autora las sustancias de trabajo son en gran medida tóxicas y por ende es necesario conocer a profundidad las características de las mismas recordando que son el amoníaco y el bisulfuro de carbono.

La clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos sobre el organismo. (Duffus, 1996). Por su elevado interés para la prevención de enfermedades relacionadas con la exposición a preparados y sustancias peligrosas merece la pena destacar los criterios de clasificación según los efectos específicos sobre la salud humana. Estos efectos se refieren a:

- * Sustancias de toxicidad aguda
- *Sustancias irritantes
- *Sustancias corrosivas
- *Sustancias carcinogénicas.
- *Sustancias mutagénicas.
- *Sustancias tóxicas para la reproducción.
- *Sustancias sensibilizadoras
- *Sustancias de toxicidad por dosis repetidas

Toxicidad aguda, es conocida como el conjunto de efectos adversos que se producen dentro de un plazo breve (14 días) después de la administración de una sola dosis (o después de la exposición a determinada concentración) de una sustancia de prueba o después de dosis múltiples (exposiciones), habitualmente en un lapso de 24 horas.

La vía más común es la oral, pero este tipo de efectos también se puede percibir mediante la absorción a través de la piel o por inhalación. Habitualmente, se cuantifica al medir la concentración o dosis letal media (DL50 o CL50), es decir, la dosis o concentración derivada estadísticamente de un producto químico capaz de matar a 50% de los organismos de determinada población en condiciones definidas. (Duffus, J. H, 1996; Worth, 1996; Rodríguez, 2006; Hernández, 2009; Acosta, 2008)

Irritación (irritación dérmica) provocada por las sustancias consideradas como irritantes de la piel causan una inflamación reveladora que puede persistir al menos durante 24 horas después de un período de exposición de hasta 4 horas y se determina usualmente en estudios con conejos. La sustancia, líquido o sólido (0,5mL o 0,5g), normalmente se aplica en la piel con un parche de gasa en un área de 6 cm² durante 4 horas y el grado de irritación de la piel se "determina" en diferentes intervalos después de haber retirado el parche. IUPAC (1993); Acosta, (G 2008).

Irritación de los ojos. Según IUPAC (1993) y Acosta, G (2008), para determinar experimentalmente el grado de irritación de los ojos, se introduce la sustancia en el ojo (0,1 ml o 100 mg). La sustancia se clasifica como irritante si se producen lesiones oculares significativas en un tiempo estipulado de 72 horas después de la exposición y éstas persisten durante 24 horas por lo menos.

Irritación del sistema respiratorio. Los autores IUPAC (1993) y Acosta, G (2008) están de acuerdo con que la certeza de una grave irritación en el sistema respiratorio usualmente se basa en la observación en seres humanos y en pruebas con animales y puede incluir datos obtenidos en una prueba general de toxicidad (datos histopatológicos del sistema respiratorio).

Corrosión. Según Acosta, G (2008) y IUPAC, 1993 concuerdan en que un producto es considerado corrosivo cuando al aplicarse en la piel (animal, humana intacta y sana) destruye totalmente el tejido cutáneo al menos en un animal durante la prueba de irritación de la piel. Es probable que no se requieran pruebas si se puede predecir el resultado; por ejemplo, el uso de un ácido fuerte (pH = 2) o sumamente alcalino (pH = 11,5).

Sensibilización. El presente término es aplicable a los procesos de inmunización que hacen que los individuos se tornen hipersensibles a sustancias como el polen, la caspa o compuestos químicos que les hacen desarrollar una alergia potencialmente dañina al estar expuestos a la sustancia sensibilizadora (alérgeno). Esta sensibilización puede surgir tanto por material inhalado como por contacto cutáneo. (Klaassen, C. D, 1996; Acosta, G, 2008)

Toxicidad por dosis repetida: PNUMA/IPCS, (1999), Europea Comisión (1996), Acosta, (2008) están de acuerdo acerca que la dosis repetida por un período prolongado de una sustancia que probablemente no tenga ningún efecto con una sola exposición puede causar un grave trastorno funcional o cambio morfológico. Se realizan pruebas de toxicidad de dosis repetidas o subagudas que se prolongan por más de 14 o 28 días para obtener información sobre la toxicidad de una sustancia química. Para ayudar a establecer un régimen apropiado de dosis para un período mayor, subcrónico, se realizan pruebas que duran aproximadamente 10% de la vida del animal; por lo general, 90 días. Aunque los estudios de toxicidad crónica o de largo plazo se prolongan a lo largo de la vida del animal de laboratorio (generalmente, 2 años en el caso de la rata) y se consideran apropiados para sustancias como los aditivos alimentarios con potencial de uso en el ser humano, en la práctica, no se dispone de muchos estudios de este tipo por razones relativas al costo. En estos estudios, a los animales generalmente se les suministra la dosis con su dieta, en tres niveles: una dosis alta cercana a la máxima dosis tolerable (MTD); una dosis baja que no produce efecto tóxico evidente y una dosis intermedia. La química clínica y la histopatología se realizan antes, durante y al final de la exposición.

A su vez también se plantea por Acosta, (2008), este vocablo refiere la capacidad que tienen algunas sustancias para modificar el material genético en el núcleo de las células de modo que ocurran cambios durante la división celular. Cuando las mutaciones se producen en las células germinales (esperma y óvulos) existe el riesgo de que el embrión o feto muera, o de que las mutaciones sean transmitidas a generaciones futuras. Cuando las mutaciones se producen en otro tipo de células, pueden ocasionar el deceso de las mismas o la transmisión del defecto genético a otras células del mismo tejido. Se dispone de varias pruebas tanto in vivo como in vitro para detectar la mutagenicidad. En algunos casos las alteraciones genéticas pueden ser visibles a través de un microscopio. Otra técnica consiste en el ensayo letal dominante, que usa la incompatibilidad de algunas mutaciones con el desarrollo normal. La dosis reiterada por un período prolongado de una sustancia que probablemente no tenga ninguna derivación con una sola exposición puede causar un grave trastorno funcional o cambio morfológico. Se realizan pruebas de toxicidad de dosis repetidas o subagudas que se extienden por más de 14 o 28 días para obtener información sobre la toxicidad de una sustancia química. (Klaassen, 1996 y Acosta, 2008)

Carcinogenicidad. Refiriéndose a esto concuerdan Europea Comisión (1996) y Acosta, G (2008) en que los estudios epidemiológicos han sido la principal fuente de información sobre los carcinógenos humanos potenciales y presentan la ventaja de ilustrar la especie de principal interés, el hombre (ser humano en general), muchas veces presentan dificultades porque la exposición está mal definida y porque hay variables de confusión que pueden distorsionar cualquier asociación estadística. Aunque muchos carcinógenos son mutágenos y se consideran causantes de mutaciones que provocan cáncer (carcinógenos genotóxicos), otros no parecen serlo y actúan con mecanismos diferentes (carcinógenos no genotóxicos o epigenéticos).

Teratogenicidad: Las sustancias teratogénicas tienen el potencial de causar malformaciones o defectos estructurales en el embrión o feto. Para detectar este efecto, los animales preñados (conejos y ratas o ratones) se exponen a una de las tres dosificaciones diarias durante la organogénesis en el

feto. Los fetos son extraídos mediante una cesárea un día antes del tiempo previsto del parto y examinados para identificar las anomalías. PNUMA/IPCS, (1999).

Toxicidad para la reproducción. Conducen los autores Faustman, E.M (1996); Omen, G.S (1996) y Acosta, G (2008), este término incluye la deficiencia de las funciones o capacidad de reproducción masculina y femenina así como la inducción de efectos dañinos no hereditarios a la generación.

En este caso en cuestión este estudio estará dedicado a una profundización relacionada con estos parámetros en función de las sustancias centrales de nuestra investigación las cuales son el turbo combustible y la nafta solvente, aspecto en el que profundizamos para tener un vasto conocimiento acerca del peligro al que nos enfrentamos y saber cómo contrarrestarlos.

1.3.1 Gestión de la prevención de los riesgos químicos.

La prevención del riesgo químico se realiza en cuatro etapas (PNUMA/IPCS, 1999).

1. Identificación del peligro. ¿Cuáles son las sustancias que interesa evaluar y cuáles sus efectos adversos?
2. Relación entre dosis (concentración)- respuesta (efecto). ¿Cuál es la relación entre la dosis y la gravedad o frecuencia del efecto (relaciones entre dosis – efecto y dosis respuesta respectivamente)?
3. Evaluación de la exposición. ¿Cuál es la intensidad y duración o frecuencia de la exposición de un agente?
4. Caracterización del riesgo. ¿Cómo se puede cuantificar el riesgo a partir de los datos anteriores?

En la actualidad no se dispone de información rigurosa sobre la morbilidad atribuible a los productos químicos. Esta información no se recoge de forma integrada y exhaustiva, entre otras razones por la dificultad de relacionar enfermedades o síntomas con la exposición a numerosos factores

medioambientales y por la dificultad de cuantificar el efecto simultáneo de los estilos de vida (tabaco, alcohol, alimentación, etc.). (Covello (1993); Merkhofer (1993).

Con toda la información disponible se puede valorar de forma más objetiva el impacto sanitario del riesgo químico. Sin embargo, este enfoque basado exclusivamente en indicadores de mortalidad y/o morbilidad no es suficiente. Las autoridades sanitarias deben desarrollar, y sobre todo aplicar, otros enfoques para evaluar los riesgos para la salud. Actualmente el más apropiado es el conocido como evaluación del riesgo que de forma resumida se fundamenta en Casal, J. et al (2001)

- Recogida y análisis de datos sobre peligrosidad y toxicidad de los agentes químicos.
- Estimación de dosis - respuesta.
- Evaluación de la exposición.
- Identificación de biomarcadores.
- Caracterización del riesgo

Esta política sanitaria debería estar reflejada en una estrategia clara y pública de reducción del riesgo que pueda ser sometida a discusión, modificación y valoración por la sociedad. Cuando hay que tomar decisiones sobre el control (limitación o prohibición) de un agente químico sospechoso se recurre a las evidencias científicas. La epidemiología ambiental (ocupacional) además de evaluar la consistencia de las asociaciones observadas en los estudios epidemiológicos tiene que tener en cuenta otros aspectos relacionados con los hallazgos clínicos y toxicológicos, y lo que es muy importante: las consecuencias económicas y sociales que las medidas de control implican.

1.3.2 La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera.

Casal, et al (2001), plantea que el término dispersión es utilizado en la modelación de accidentes para describir la evolución de una nube de gas tóxica o inflamable en la atmósfera. La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo a medida que va disminuyendo su

concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal. En el caso de gases pesados, la dispersión se produce incluso en dirección contraria al viento.

Las distintas variables meteorológicas afectan en mayor o menor grado la dispersión atmosférica de contaminantes. Así pues, la velocidad y la dirección del viento, junto con la estabilidad atmosférica, condicionan especialmente la dispersión de nubes de gas; la humedad y la Temperatura tienen efectos menores, mientras que la inversión térmica influye en casos concretos. Todas las variables meteorológicas presentan una gran variabilidad estacional y diaria. Para posibilitar la modelización de la dispersión de manera representativa, se suelen tomar valores medios específicos del área de estudio. A continuación se describen las variables meteorológicas principales que afectan a la dispersión de nubes contaminantes.

Influencia del viento Según Casal, et al (2001) el viento tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. El viento influye también en la estabilidad atmosférica, que es el otro factor principal para determinar la dispersión de gases. La información sobre el viento de una determinada zona geográfica, se reúne en la denominada “rosa de los vientos”. La rosa de los vientos es una representación gráfica de la frecuencia de los vientos según su dirección y velocidad. Las direcciones se suelen dar en 8 o 16 sectores de 45° o 22,5° respectivamente, denominados según las direcciones cardinales N, NE, E, SE, S, etc. O bien N, NNE, NE, ENE, E, etc. Estas direcciones indican de dónde procede el viento.

Los datos del viento se miden a una determinada altura. Estos datos, y especialmente la velocidad del viento, varían en función de dicha altura. En general, la velocidad del viento registrada por los servicios meteorológicos se refiere a una altura de 10 m, este es el valor que suele utilizarse en los modelos de dispersión.

Estabilidad atmosférica La estabilidad atmosférica es una variable que se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante; en realidad, lo que representa es el grado de turbulencia existente en un momento determinado. Se ha establecido una clasificación en

categorías (denominadas a menudo “categorías de Pasquill”), tal como se muestran en la tabla 1.1, según Casal, et al (2001).

Tabla 1.2 Definición del tipo de estabilidad atmosférica.

Tipo de estabilidad	Definición
A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutro
E	Ligeramente estable
F	Estable
G	Muy estable

1.3.3. La temperatura y la humedad relativa.

Según Casal, et al (2001) la temperatura y la humedad relativa son básicamente consecuencia de la estación del año. La humedad y la temperatura se utilizan para el cálculo de la velocidad de evaporación de un líquido. La humedad del aire sólo tiene efectos significativos sobre la dispersión de un contaminante si existe reactividad entre el producto y el vapor de agua contenido en la atmósfera.

La inversión térmica. La inversión térmica se caracteriza por un aumento anómalo de temperatura en las capas altas atmosféricas; es decir, a cierta altura (en general, alrededor de 100 m) la temperatura es superior a la de las capas de aire de cotas más bajas. Desde el punto de vista de la dispersión de gases, este es un efecto muy importante ya que impide la dispersión en altura y provoca su reflexión hacia las capas bajas atmosféricas (Casal, et al, 2001).

1.4- Programas informáticos más utilizados.

Existen varios softwares utilizados para estimar áreas de atmosferas peligrosas como son los que se describen a continuación:

Software SCREEN

Según EPA, 2004, el modelo de pluma Gaussiana SCREEN fue diseñado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) e incorporado a un programa de evaluación de fuentes puntuales en tres fases, en las que SCREEN puede utilizarse en la primera y segunda, ya que sus requisitos de información son mínimos y demanda poco tiempo de cómputo. La primera fase de la evaluación consiste en el diagnóstico de la(s) fuente(s).

En la primera fase según Herrera y Tello, (2007) en esta fase el modelo proporciona un diagnóstico básico, presentando escenarios con diferentes condiciones meteorológicas en las que la fuente puede impactar con mayor intensidad. Para tal efecto, SCREEN examina todo el rango de clases de estabilidad atmosférica y velocidad del viento para identificar el peor caso de condiciones meteorológicas y consecuentemente las máximas concentraciones a nivel del piso bajo estas condiciones.

En la segunda fase según Herrera y Tello, (2007) el diagnóstico se realiza con información meteorológica correspondiente a la zona de estudio y finalmente, en la tercera fase se realiza un análisis más fino del escenario. Cuando los resultados de la segunda fase indican que existe un problema en la calidad del aire, se recurre a un modelo más complejo que pueda considerar información con características más precisas de la zona de estudio.

La información básica demandada por el modelo SCREEN son los datos sobre emisiones de la fuente (g/s), la altura de la chimenea (m), el diámetro interior de la chimenea (m), la velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s), la temperatura del gas de la chimenea (K), la temperatura ambiente (K) y la altura del receptor sobre el suelo (m).

Software CALMET y CALPUFF

El sistema de modelado CALMET y CALPUFF (*EarthTEch*, Inc., 2000), según Fernández, 2003 fue desarrollado por *Earth Tech* (Concord, MA) para simular emisiones continuas de paquetes de contaminantes usando los campos de vientos particulares de una región específica. A través del modelo CALMET, se

calculan las estructuras de viento del área de estudio y CALPUFF calcula la dispersión de contaminantes en los sitios receptores, tomando en cuenta campos de viento tridimensionales complejos, particularmente importante para las características de las termoeléctricas que se ubican en las áreas costeras. Este sistema, es capaz de calcular las concentraciones de los contaminantes, distribuidos en el dominio de estudio, a diferentes horas.

Además, tiene la peculiaridad de incluir un modelo simple de transformación química que permite estudiar y calcular algunas especies secundarias como los sulfatos (SO₄) y los nitratos (NO₃), que han tomado mucha relevancia por sus efectos potenciales sobre la salud humana (Finlayson-Pitts y Pitts, 2000).

El modelo CALMET tiene la capacidad de asimilar los campos meteorológicos de MM5 y de ajustarlos a la malla más fina una interpolación sofisticada. Este campo de vientos es mejorado con las consideraciones de los efectos del terreno, ajustando las observaciones de superficie y los datos de los perfiles verticales con valores ponderados que el usuario asigna. Además de reproducir los campos de viento de la región, CALMET cuenta con un módulo de micrometeorología que describe las características de capa de mezclado, campos tridimensionales de temperatura y parámetros que utiliza CALPUFF en sus rutinas de cálculo de la dispersión.

Software DEGADIS

El modelo DEGADIS (Dense Gas Dispersión Model) según Spicer and Havens (2002), fue originalmente desarrollado para los Guardacostas de USA y el Instituto De Investigación.

Gas primordialmente para la simulación de la dispersión de gases criogénicos inflamables. La implementación de DEGADIS en una computadora personal se patrocinó por el Instituto De Investigación Gas y el Instituto Americano Del Petróleo.

La información básica concerniendo el auge teórico de DEGADIS v2.1, su aplicabilidad, y su implementación general pueden ser obtenidas de "*Guide de User para el*" Havens "*DEGADIS 2.1 Dense Gas Dispersion Model,*" del Gato

Macho del Spicente y Jerry, EPA450/4-89-019, noviembre de 1989. Este documento no está disponible a través del Servicio De Información Especializado Nacional, 5285 Port Royal Rd, Springfield, Virginia 22161, Order. El PB90-213893. La documentación relacionada con el uso de DEGADIS en una PC está disponible del Instituto De Investigación Gas o el Instituto Americano Del Petróleo. Lo Gas De Investigación que el informe provee guía específica licuó dispersión natural de vapor del gas (LNG).

Software DISPER 5.2

Según Ingeniería de software: DISPER 5.2, 2012 es Ideal para estudios de impacto ambiental, auditorías medioambientales y para la gestión ambiental en general ya que permite evaluar los efectos posibles de una gran cantidad de fuentes de contaminación atmosférica como son: chimeneas, carreteras y vías de circulación, líneas férreas, vertederos al aire libre, incendios forestales, movimientos de tierra por obras, minas a cielo abierto, aplicaciones de pesticidas en cultivos. Evalúa de una manera rápida y sencilla la dispersión de cualquier contaminantes atmosféricos en el aire de menos de 10 micras de diámetro: NOS, CO₂, NO₂, sulfatos, metales pesados, compuestos inorgánicos, clorofluorocarbonos, contaminantes secundarios, compuestos inorgánicos, óxidos, anhídridos, metales contaminantes, ozono, óxido nitroso, benceno, alcanos, compuestos orgánicos, sustancias organolépticas, anhídrido carbónico, amoníaco, bióxido de carbono, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, pesticidas, plomo, arsénico, clorofluorocarbonados, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles, fotoquímicos, lluvia ácida, esmog, etc.

Para fuentes contaminantes ya existentes, permite obtener mapas de las concentraciones de contaminantes que pueden ser complementarios de las medidas reales de estaciones que toman datos en un único punto del terreno.

Permite construir de una manera gráfica el escenario sobre el que se va a producir la simulación actuando interactivamente con el usuario de tal manera que se puedan diseñar carreteras, chimeneas, atendiendo a sus efectos medioambientales.

Permite realizar estudios de riesgo en industrias contaminantes ya que puede evaluar la contaminación bajo condiciones teóricas extremas (excesiva emisión, vientos fijos). Este software fue realizado íntegramente en castellano.

Software ALOHA

El software ALOHA de sus siglas *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* la EPA, EEUU es un programa de computación que permite predecir las cantidades de vapores químicos que pueden escapar a la atmósfera a través de tuberías, tanques, por evaporación, explosiones, etc. El mismo plotea las áreas de alcance para emisiones de corta duración de compuestos peligrosos claves: tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión.

Modela tres categorías peligrosas fundamentales:

- Dispersión de gas tóxica
- Fuegos
- Explosiones

Cuando se emite un compuesto químico a la atmósfera modela

- Chorros de fuego.
- Piscinas de fuego.
- Bleves: Explosión de vapor por la expansión de un líquido en ebullición.
- Áreas inflamables.
- Explosión de una nube de vapor.

ARCOPOL (2011) explica que ALOHA puede dibujar Zonas de Riesgo (*threatzone*) que representan el área en cuyo interior la concentración a nivel del suelo de un gas contaminante excederá del Nivel de Preocupación (LOC: *Level of concern*) seleccionado por el usuario, después de iniciarse la descarga accidental.

De los software encontrados en la bibliografía el más adecuado para usar es el software ALOHA ya que está abalado por el CITMA Nacional para obtener la dispersión de contaminantes en la atmósfera y poder determinar su área de alcance, además la concentración máxima admisible concuerda con la norma cubana.

1.5-Ecuaciones *Probit*.

Medina, (2003) y Domínguez, (2014) apuntan que es un método estadístico que nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo, es un método muy destacado entre los modelos de vulnerabilidad, los cuales son basados en experiencias realizadas con animales de laboratorio o estudios de muertes y lesiones de accidentes ocurridos. El valor *probit* permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte a causa de una carga de exposición determinada, dichos valores se encuentran tabulados como parte indispensable de aplicación del método.

1.6 -Conclusiones Parciales:

1. En las industrias petroquímicas o en instalaciones que almacenan sustancias tóxicas, las mismas deben estar adecuadamente clasificadas según sus características y efecto para la salud.
2. El estudio de riesgos evita el aumento de los accidentes y de igual manera disminuye las pérdidas materiales y humanas; y permite elaborar una estrategia para minimizarlos o evitarlos totalmente.
3. El *software* a emplear en el proyecto a realizar será el *software* ALOHA.
4. Se emplea la metodología de *Probit* más amplia, para determinar las afectaciones que puede causar a la empresa, su personal y población aledaña.

Capítulo 2. Materiales y Métodos.

En este capítulo se realiza una caracterización de las instalaciones donde se realiza el estudio, se caracterizan toxicológicamente las sustancias objeto de estudio: Amoníaco y bisulfuro de carbono. Además, se describen las metodologías de análisis y evaluación de riesgos, así como el procedimiento a seguir para desarrollar esta investigación.

2.0 Caracterización de las instalaciones

2.1 Caracterización de La Empresa Rayonitro de Matanzas.

La Empresa Rayonitro, pertenece a la Unión Química del Ministerio de la Industria Básica y es la Unión de Empresas Rayonera (inaugurada en el mes de agosto de 1948 con el nombre Co. Rayonera Cubana S.A.) y la Empresa Cubanitro (1959). Se encuentra ubicada en el litoral Norte-occidental de la provincia de Matanzas, al Noroeste de la Ciudad. Limita al sur con la carretera del litoral, y por el Este con la Terminal Marítima, por el Oeste y Noroeste con la carretera Vía Blanca. La misma posee actualmente un tanque donde se almacena bisulfuro de carbono, soportado en una base de gran consistencia.

2.1.1 Características del tanque de almacenamientos de bisulfuro de carbono.

- ✓ Capacidad del recipiente de almacenamiento: 150 t..
 - ✓ Forma del recipiente: cilíndrico, horizontal.
 - ✓ Dimensiones del recipiente: 2.5 m de diámetro, 12 m de largo.
 - ✓ Tipo de soldadura: Automática.
 - ✓ Material de construcción: acero al carbono.
 - ✓ Protección del recipiente (interior o exterior): Pintura impermeabilizante.
 - ✓ Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: válvula, se encuentra ubicada en la parte inferior del tanque.
- Fecha de fabricación del recipiente: 1948.

2.2 Caracterización de la UEB Frigorífico Los Molinos.

La UEB Frigorífico, pertenece a las empresas agrícolas del territorio vinculadas al Ministerio de la Agricultura. Se encuentra ubicado al Sur de la ciudad de Matanzas.

La actividad fundamental de esta instalación es la conservación en frío de todo tipo de productos agrícolas, como viandas, frutas y productos derivados de la línea pecuaria, carnes de aves, ganado menor y mayor, su función es la conservación en refrigeración o mantenimiento y la conservación en congelación, para el mercado en frontera y la exportación. Es una unidad con tecnología de nueva generación que utiliza como gas refrigerante el amoníaco (NH_3).

El amoníaco se encuentra distribuido en todo el sistema, operando en cuatro balsas diferentes:

Tabla 2.1: Distribución de las balsas de almacenamiento de amoníaco.

Balsas	Cantidad de balsas	Capacidad (ton)	Temperatura
Horizontal	2	10	-30°C
Horizontal	1	20	-14°C

Fuente: Elaboración propia.

El Promedio diario en conservación oscila entre las 52500 ton, para ello se cuenta con 8 cámaras con una capacidad de 12000 m³. El de promedio de congelación es de 3000 ton en 3 cámaras con una capacidad de 13469 m³ aproximadamente.

2.3 Caracterización toxicológica del Bisulfuro y el Amoníaco.

El primer paso para una identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial es la identificación y caracterización de las sustancias involucradas en el proceso. Para ello, se utiliza la guía propuesta por Luis, (2017) y las tablas que se muestran a continuación.

Clasificación de la sustancia (R, S)

Indicación de riesgos específicos

R1	Explosiva al secarse
R2	Riesgo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R3	Riesgo extremo de explosión por choque eléctrico, fricción, fuego u otras fuentes de ignición
R4	Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles
R5	El calentamiento puede causar la explosión de la sustancia
R6	Explosiva en o sin contacto con el aire
R7	Puede causar incendios
R8	En contacto con material combustible, puede causar incendios
R9	Explosiva al ser mezclada con material combustible
R10	Inflamable
R11	Sumamente inflamable
R12	Extremadamente inflamable
R13	Gas licuado extremadamente inflamable
R14	Reacciona violentamente con el agua
R15	Libera gases sumamente inflamables en contacto con el agua
R16	Explosiva al mezclarse con sustancias oxidantes
R17	Espontáneamente inflamable en el aire
R18	Al usarla, puede formar una mezcla de aire-vapor inflamable-explosiva
R19	Puede formar peróxidos explosivos
R20	Dañina al ser inhalada
R21	Dañina en contacto con la piel
R22	Dañina al ser ingerida
R23	Tóxica al ser inhalada
R24	Tóxica en contacto con la piel
R25	Tóxica al ser ingerida
R26	Muy tóxica al ser inhalada
R27	Muy tóxica en contacto con la piel
R28	Muy tóxica al ser ingerida
R29	Libera gas tóxico en contacto con el agua
R30	Puede volverse sumamente inflamable al ser usada

R31	Libera gas tóxico en contacto con ácidos
R32	Libera gas muy tóxico en contacto con ácidos
R33	Peligro de efectos acumulativos
R34	Causa quemaduras
R35	Causa quemaduras graves
R36	Irrita los ojos
R37	Irrita el sistema respiratorio
R38	Irrita la piel
R39	Peligro de efectos irreversibles muy graves
R40	Posible riesgo de efectos irreversibles
R41	Riesgo de grave daño a los ojos
R42	Puede causar sensibilización al ser inhalada
R43	Puede causar sensibilización en contacto con la piel
R44	Riesgo de explosión al calentarse en un ambiente cerrado
R45	Puede causar cáncer
R46	Puede causar daño genético hereditario
R47	Puede causar defectos de nacimiento
R48	Peligro de grave daño para la salud por exposición prolongada
R49	Puede causar cáncer al ser inhalada
R50	Muy tóxica para organismos acuáticos
R51	Tóxica para organismos acuáticos
R52	Dañina para organismos acuáticos
R53	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente acuático
R54	Tóxica para la flora
R55	Tóxica para la fauna
R56	Tóxica para los organismos del suelo
R57	Tóxica para las abejas
R58	Puede causar efectos adversos de largo plazo en el ambiente
R59	Peligrosa para la capa de ozono
R60	Puede perjudicar la fertilidad
R61	Puede causar daño fetal
R62	Posible riesgo de pérdida de fertilidad
R63	Posible riesgo de daño fetal
R64	Puede causar daño a lactantes

Indicaciones sobre precauciones de seguridad

S1	Manténgase cerrado
S2	Manténgase fuera del alcance de los niños
S3	Manténgase en un lugar fresco
S4	Manténgase lejos de las viviendas
S5	Manténgase el contenido en ... (líquido apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S6	Manténgase en ... (gas inerte que debe ser especificado por el fabricante)
S7	Manténgase el envase herméticamente cerrado
S8	Manténgase el envase seco
S9	Manténgase el envase en un lugar bien ventilado
S12	No mantener el envase sellado
S13	Manténgase lejos de alimentos, bebidas y forraje
S14	Manténgase lejos de ... (materiales incompatibles que deben ser indicados por el fabricante)
S15	Manténgase lejos del calor
S16	Manténgase lejos de fuentes de ignición - NO FUMAR
S17	Manténgase lejos de material combustible
S18	Manipúlese y ábrase el envase con cuidado
S20	No comer ni beber cuando se use
S21	No fumar cuando se use
S22	No inhalar el polvo
S23	No inhalar el gas-humo-vapor-rocío (los términos apropiados deben ser especificados por el fabricante)
S24	Evítese el contacto con la piel
S25	Evítese el contacto con los ojos
S26	En caso de haber contacto con los ojos, enjuáguese de inmediato con abundante agua y busque asistencia médica
S27	Quítese de inmediato toda la ropa contaminada
S28	Después del contacto con la piel, lavar de inmediato con abundante ... (debe ser especificado por el fabricante)
S29	No vaciar en los desagües
S30	Nunca agregar agua a este producto

S33	Tomar medidas preventivas contra descargas estáticas
S34	Evítense golpes y fricciones
S35	Este material y su envase deben desecharse de manera segura
S36	Usar ropa protectora apropiada
S37	Usar guantes apropiados
S38	En caso de ventilación insuficiente, úsese el equipo de respiración apropiado
S39	Úsese protección para ojos y cara
S40	Para limpiar el piso y todos los objetos contaminados por este material úsese ... (debe ser especificado por el fabricante)
S41	En caso de incendios o explosiones, no inhalar el humo
S42	Durante la fumigación o rociado, usar equipo de respiración apropiado (los términos adecuados deben ser especificados por el fabricante)
S43	En caso de incendio, usar ... (indíquese en el espacio el tipo específico de equipo contra incendios. Si el agua aumenta el riesgo, hay que indicar: "Nunca usar agua")
S44	En caso de accidente o indisposición, buscar asistencia médica (mostrar la etiqueta si es posible)
S45	En caso de accidentes o indisposición, buscar asistencia médica de inmediato (mostrar la etiqueta si es posible)
S46	En caso de ingestión, buscar asistencia médica de inmediato y mostrar el envase o la etiqueta
S47	Manténgase a temperatura no mayor que ... °C (debe ser especificada por el fabricante)
S48	Manténgase humedecido con ... (material apropiado que debe ser especificado por el fabricante)
S49	Manténgase únicamente en el envase original
S50	No mezclar con ... (debe ser especificado por el fabricante)
S51	Úsese solo en áreas bien ventiladas
S52	No recomendable para ser usado en interiores
S53	Evítese la exposición - obtener instrucciones especiales antes de su uso
S54	Obtener el consentimiento de las autoridades de control de la contaminación antes de descargar en plantas de tratamiento de aguas residuales
S55	Tratar con las mejores técnicas disponibles antes de descargar en desagües o ambientes acuáticos

Caracterización del CS₂.

Nombre del producto:

Disulfuro Carbono.

Formula Química: CS₂.

Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos:

R2/R3/R5/R6/R7/R12/R17/R20/R21/R22/R23/R24/R26/R28/R36/R38/R41/R44/
R48/R50/R52/R54/R55/R59

Datos físicos:

- ✓ Masa molecular: 76.14 g/mol.
- ✓ Apariencia: Líquido incoloro, insoluble en agua y más denso que está, inflamable, de olor desagradable.
- ✓ Punto de ebullición: 46.5 °C.
- ✓ Punto de fusión: - 11.5 °C.
- ✓ Solubilidad: Soluble en cloroformo, Alcohol, Éter y benceno.
- ✓ Densidad: 1.22632 g/cm³ a 20 °C.
- ✓ Umbral de olores: 0.1 - 0.2 ppm.
- ✓ Descripción: Comercialmente puro tiene un aromático olor dulce, a escala industrial tiene un olor aproximado a col podrida o a rábano.
- ✓ Presión a vapor: 297mm Hg a 20 °C.
- ✓ Factor de convección: 1ppm=3.11mg/m³ a 25 °C.
- ✓ TLV -límite superior de inflamabilidad: no se tiene información.
- ✓ IPVS - Límite inferior de explosividad: no se tiene información.
- ✓ Punto de congelación: no se tiene información.
- ✓ Temperatura de autoignición: no se tiene información.
- ✓ Coeficiente de expansión: no se tiene información.
- ✓ Temperatura de inflamación: no se tiene información
- ✓ Biodegradabilidad: no se tiene información.
- ✓ Corrosión: Si

- ✓ Formas de control y mitigación en casos de desastres. Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre: Agua.
- ✓ Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación): existen carros para el traslado y tiro de Agua en caso de desastre en áreas grandes.

Peligros para la salud.

- ✓ Concentración permisible: no se tiene información.
- ✓ Exposición permisible: no se tiene información
- ✓ Emergencias: Partes del cuerpo que afecta: ojos, Piel y Tubo respiratorio. Forma de entrada al organismo: Por inhalación, a través de la piel o por ingestión.

Toxicidad

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR
Disulfuro Carbono.	X	ROP	X				X	X

Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).

1. Datos de reactividad.

Reacción principal y reacciones secundarias: Mareos, Fatigas, Falta de conciencia.

- ✓ Cinética de reacción: no se tiene información.
- ✓ Contaminantes producidos: SO₂.
- ✓ Reacciones de descomposición: no se tiene información.

2. Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- ✓ Capacidad del recipiente de almacenamiento: 150 ton.

- ✓ Forma del recipiente: cilíndrico, horizontal.
 - ✓ Dimensiones del recipiente: 2.5 m de diámetro, 12 m de largo.
 - ✓ Tipo de soldadura: Automática.
 - ✓ Material de construcción: acero al carbono.
 - ✓ Protección del recipiente (interior o exterior): Pintura impermeabilizante.
 - ✓ Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: válvula, se encuentra ubicada en la parte inferior del tanque.
- Fecha de fabricación del recipiente: 1948.

3. Condiciones de almacenamiento de la sustancia.

- ✓ Estado: Líquido
- ✓ Presión = 1kg/cm^2 .
- ✓ Temperatura = 25 a 36°C .

4. Tipo de averías producidas

- ✓ Ninguna.

5. Características de los alrededores del recipiente.

- ✓ Se encuentran dentro una piscina con agua para recoger cualquier derrame que ocurra, a condiciones ambientales.

6. Condiciones para su uso en el proceso.

- ✓ Se encuentra ocioso.

Condiciones en las que se usa la sustancia.

- ✓ Condiciones: Atmosférica.

7. Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.

- ✓ Ninguno.

8. Material de construcción de los equipos donde es usada.

- ✓ Acero al carbono.

9. Protección del sistema de tuberías.

- ✓ Pintura según las normas y protección catódica.

SLIDESHARE (2012) declara que el término tóxico puede relacionarse con venenoso y la clasificación con esta sustancia está dada de acuerdo con la DL50 oral, inhalatoria y dérmica, existen dos subdivisiones:

- Subclase 6.1: Venenosas o tóxicas; pueden causar la muerte o daños graves si se inhalan, ingieren, o por contacto dermal (Morales)
- Subclase 6.2: Infecciosas; contiene microorganismos o toxinas (Morales).

El bisulfuro de carbono se encuentra en la subclase 6.1

Caracterización del NH₃.

Nombre del producto:

Amoniaco.

Formula Química: NH₃.

Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

R2/R3/R5/R7/R10/R12/R13/R20/R21/R22/R26/R28/R30/R34/R35/R36/R37/R41/R 54/R55/59

Datos físicos

- ✓ Masa molecular: 17.03 g/mol.
- ✓ Apariencia: Líquido incoloro, inflamable, de olor desagradable, volátil, explosivo y tóxico.
- ✓ Punto de ebullición: -33.5 °C
- ✓ Punto de fusión: - 77.7°C
- ✓ Solubilidad: Muy Soluble en agua, Alcohol y Éter.

- ✓ Densidad: 0.695 g/l a 25 °C.
- ✓ Umbral de olores: 17 ppm (medida geométrica).
- ✓ Presión de vapor: 6.46mm Hg.
- ✓ Presión trabajo: =12 – 14 Kg/ cm2.
- ✓ Presión máxima = 14 Kg/ cm2.
- ✓ Factor de conversión: 1ppm = 0.71mg/ m3 a 25 °C.
- ✓ TL V -límite superior de inflamabilidad: no se tiene información.
- ✓ IPVS - Límite inferior de explosividad: no se tiene información.
- ✓ Punto de congelación: no se tiene información.
- ✓ Temperatura de autoignición: no se tiene información.
- ✓ Coeficiente de expansión: no se tiene información.
- ✓ Temperatura de inflamación: no se tiene información.
- ✓ Biodegradabilidad: no se tiene información.
- ✓ Corrosión: Si Formas de control y mitigación en casos de desastres.
- ✓ Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre: polvo y dióxido de carbono.
- ✓ Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación): rociar agua pulverizada para mantener frío los recipientes en caso de desastre en áreas grandes.

Peligros para la salud

- ✓ Concentración permisible: no se tiene información.
- ✓ Exposición permisible: no se tiene información.
- ✓ Emergencias: Respiración artificial.
- ✓ Partes del cuerpo que afecta: ojos, Piel y Tubo respiratorio.

Forma de entrada al organismo: Por inhalación y a través de la piel.

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR
	X	ROP		X			X	

Nota: En el caso de la irritación debe aclararse si es a los ojos (O), piel (P) o respiratoria (R).

1. **Datos de reactividad.**

- ✓ Reacción principal y reacciones secundarias: Mareos, Fatigas, Resfriados.
- ✓ Cinética de reacción: no se tiene información.
- ✓ Contaminantes producidos: no disponible.
- ✓ Reacciones de descomposición: no se tiene información.

2. **Condiciones de almacenamiento y manipulación.**

- ✓ Capacidad del recipiente de almacenamiento: 10 o 20 t..
- ✓ Forma del recipiente: cilíndrico, horizontal.
- ✓ Dimensiones del recipiente: 1 m de diámetro, 3 m de largo.
- ✓ Tipo de soldadura: Automática.
- ✓ Material de construcción: acero al carbono.
- ✓ Protección del recipiente (interior o exterior): Pintura impermeabilizante.
- ✓ Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: 2 válvula de seguridad por cada bala, con una presión de disparo = 16Kg/cm² y 4 válvula en el resto del sistema, además un sistema de rociadores por cada bala y un nivel visual y digital.
- ✓ Fecha de fabricación del recipiente: 1983.

3. **Condiciones de almacenamiento de la sustancia**

- ✓ Condiciones ambientales, de forma líquida.

4. **Tipo de averías producidas.**

- ✓ Ninguna.

5. **Características de los alrededores del recipiente.**

- ✓ Se encuentran en la fábrica en bases de acero encima del concreto, a condiciones ambientales.

6. **Condiciones para su uso en el proceso.**

- ✓ Uso en el proceso: Como materia prima para preparar soluciones amoniacaes para la producción de fertilizantes.

7. Condiciones en las que se usa la sustancia

- ✓ Condiciones Atmosférica.

8. Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.

- ✓ Ninguno.

9. Material de construcción de los equipos donde es usada.

- ✓ Acero al carbono.

10. Diámetro de la tubería.

- ✓ USA – cuatro pulgadas.

11. Material de construcción de los accesorios y tuberías.

- ✓ Hierro y acero.

12. Protección del sistema de tuberías.

- ✓ Pintura según las normas.

Como se puede notar, ambas sustancias se consideran nocivas para la salud de las personas en varias categorías R, que incluyen daños a los ojos mucosos, tóxicos al ser inhaladas etc.

2.4 Características y particularidades del software ALOHA en la evaluación de las consecuencias de los accidentes industriales.

El *software* ALOHA utiliza modelos de dispersión, modela categorías de riesgo, de escenarios de incendios y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos y ofrece un eje de coordenadas. Emplea una serie de términos relacionados con la ocurrencia del fuego, explosiones, y otros escenarios peligrosos.

Características del *software*:

- ✓ Emplea en sus cálculos dos modelos de dispersión: el modelo *Gaussiano* para gases ligeros que ascienden rápidamente, y el modelo de Gases Pesados para gases densos que se dispersan a ras de suelo.
- ✓ Modela tres categorías de riesgo: dispersión de una nube tóxica, incendios y explosiones.

- ✓ Modela cinco tipos de escenarios de incendios y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos:
 - *Pool fire*.
 - *Jet fire*.
 - BLEVEs.
 - Áreas inflamables.
 - Explosión de una Nube de Vapor.
- ✓ Los resultados son representados en un diagrama “y” contra “x”, denominado *Threat Zone*, el cual muestra el área donde las concentraciones del compuesto químico en el aire pueden ser suficientemente altas que provoquen afectaciones a la población. En el eje “y” nos indica la amplitud del área de localización y en el eje “x” su alcance.

En la tabla 2.2 se resumen las diferentes fuentes y escenarios de trabajo del ALOHA.

Tabla 2.2: Fuentes y escenarios de trabajo del ALOHA.

Fuente	Escenarios tóxicos	Escenarios de incendio	Escenarios explosivos
Directa			
Escape directo	Nube tóxica	Llamarada de fuego	Nube explosiva
Charco			
Evaporación	Nube tóxica	Llamarada de fuego	Nube explosiva
Inflamable		Piscina de fuego	
Tanque			
No inflamable	Nube tóxica	Llamarada de fuego	Nube explosiva
Inflamable		Dardo de fuego o Piscina de fuego	
BLEVE		BLEVE (Bola de fuego y piscina de fuego)	
Tubería de gas			
No inflamable	Nube tóxica	Llamarada de fuego	Nube explosiva
Inflamable		Dardo de fuego	

Fuente: Manual de Usuario ALOHA, (2007).

Algunos de los términos usados son:

- ✓ Gas pesado: Gases con peso molecular superior al peso molecular del aire. También gases que son más ligeros que el aire almacenado a bajas temperaturas, o sea en estado criogénico.
- ✓ *Flash boiling*: Vaporización brusca de un líquido causada por baja presión.
- ✓ *Two-Phase flow*: Cuando las fases líquida y gaseosa de un compuesto químico escapan juntas desde la ruptura de un tanque.

Según el Manual de usuario ALOHA (ARCOPOL, 2011), se utilizan diferentes valores de niveles de interés (LOCs), de acuerdo con el escenario de riesgo que se quiera estudiar. Se define nivel de interés como: el valor umbral a partir del cual se considera que los seres vivos y bienes materiales, dentro de la zona de riesgo, se encuentran en peligro.

El usuario puede seleccionar los niveles de interés que almacena el ALOHA o puede definir un nuevo valor, si dispone de información técnica suficiente para ello.

Se utilizan tres valores de LOC, medidos en kW/m^2

- ✓ Rojo: 10 kW/m^2 (Potencialmente letal en 60 segundos)
- ✓ Naranja: 5 kW/m^2 (quemaduras de segundo grado en 60 segundos)
- ✓ Amarillo: 2 kW/m^2 (dolor en 60 segundos)

En el caso de compuestos inflamables que no han comenzado a arder, ALOHA es capaz de mostrar el área de tres posibles escenarios de peligro: dispersión de una nube tóxica, zonas de inflamabilidad elevada y explosión de una nube de vapor.

1. Dispersión de una nube tóxica: Para descargas accidentales de compuestos tóxicos, ALOHA utiliza los siguientes niveles de interés: AEGL (Niveles de Pauta de Exposición Agudos): representan el umbral límite de exposición para la población general y son aplicables para períodos de exposición desde 10 minutos a 8 horas.

AEGL-1: es la concentración de una sustancia química en el aire, por encima de la cual se predice que la población podría experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos sintomáticos.

AEGL-2: es la concentración de una sustancia química en el aire por encima de la cual se predice que la población podría experimentar efectos duraderos serios o irreversibles o ver impedida su capacidad para escapar.

AEGL-3: es la concentración de una sustancia química en el aire por encima de la cual se predice que la población podría experimentar efectos amenazantes para la vida o incluso provocar la muerte.

ERPG (Planificación de los Planes de Emergencia). Se desarrollaron como directrices de planificación, para anticipar los efectos adversos sobre la salud humana, causados por la exposición a una sustancia química tóxica.

ERPG-1: Es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos hasta una hora pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

ERPG-2: Es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos hasta una hora pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impida tomar decisiones para protegerse.

ERPG-3: Es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos hasta una hora a ella se encuentran en condiciones de riesgo para su vida.

TEEL (Límites de Exposición de Emergencia Temporales): se utilizan cuando no están disponibles los ERPG para el compuesto químico liberado. Su definición es similar a la de los ERPG, pero difieren en el tiempo de duración de la exposición, los TEEL calculan la concentración promedio durante 15 minutos, y los ERPG tras 1 hora de duración de la exposición.

IDLH (Daños inmediatos a la vida y la salud): Se define como la concentración en la atmósfera de cualquier sustancia tóxica, corrosiva o asfixiante que

suponga un riesgo inmediato para la vida o pueda causar efectos adversos irreversibles o interfiera con la capacidad individual para escapar del ambiente peligroso.

La organización básica del programa consta de varios pasos:

1. Indicar la ciudad, fecha y hora del accidente.
2. Seleccionar el producto químico liberado.
3. Introducir las condiciones meteorológicas en el período que queremos realizar la predicción del evento.
4. Describir cómo los compuestos químicos escapan a la atmósfera.
5. Mostrar en un gráfico las “zonas de riesgo”.

El programa cuenta con una base de datos de compuestos químicos de interés, sobre la base de datos DIPPR (*Department of Chemical Engineering of Brigham Young University for the Design Institute for Physical Property Data (DIPPR) of the American Institute of Chemical Engineers*), donde aparecen las principales propiedades físicas y químicas y tiene en cuenta, a diferencia de versiones anteriores, algunas soluciones, tales como ácidos anhídridos en agua y ácidos fluorhídricos en agua. (NOAA, 2016)

2.5 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software.

A continuación se propone el procedimiento a seguir en la determinación de las áreas de atmosferas peligrosas para cada sustancia mediante el software ALOHA.

1. Se deben evaluar en las direcciones del viento donde se encuentran las zonas con mayor concentración de trabajadores dentro de la empresa y aquellas donde existen asentamientos poblacionales, y/o instalaciones susceptibles de ser amenazadas. Estas direcciones son:
 - Direcciones del viento de interés en función de los Consejos Populares que pueden verse afectados por una nube de Bisulfuro de Carbono.

Consejos Populares	Habitantes	Dirección del viento más riesgosas	Dirección de riesgo(evaluar)
Versalles	19 829	E, ENE,NE	NE
Matanzas	41 749	E y ESE	E
Pueblo Nuevo	28 298	N,NE y ENE	NNE
Peñas Altas	24 328	WNW,NW y NNW	NW
Playa	13 120	WNW,NW y NNW	NNW

- Direcciones del viento a evaluar, en el entorno cercano a la Rayonitro, que puede verse afectado por una nube de Bisulfuro de Carbono.

Instalaciones	Dirección de riesgo(evaluar)	Distancia a la fuente de emisión(m)
Planta de ácido sulfúrico	SW	110
Oficinas centrales de Farma-Cuba	NNW	220
Almacenes de Farma-Cuba	NNW	280
Casas	N	325
Aula de capacitación	N	415

En el caso de la otra sustancia investigada se evaluará en consecuencia a la ubicación de la entidad y la localización de las zonas poblacionales de interés con respecto a ella, tanto para los Consejos Populares como el entorno cercano al Frigorífico Los Molinos.

2. Se usan los valores reportados en los estudios climatológicos de la zona de estudio.

Comportamiento de los valores medio de la nubosidad para la zona estudiada.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	4	4	4	3	4	5
coef.variac	17.9967	17.9967	13.845	15.1882	21.356	15.7135
desv.estand	0.7378	0.7378	0.5676	0.5163	0.8755	0.7071

MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	4	4	4	3	4	5
coef.variac	17.9967	17.9967	13.845	15.1882	21.356	15.7135
desv.estand	0.7378	0.7378	0.5676	0.5163	0.8755	0.7071

Comportamiento de los valores medio de la **temperatura máxima** para la zona estudiada.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	26.15	25.92	28.2	29.71	30.94	30.54
coef.variac	2.6448	2.7808	1.3056	2.3929	2.1177	2.3972
desv.estand	0.6916	0.7208	0.3681	0.7109	0.6552	0.7321

MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	31.43	31.3	30.82	29.54	27.32	26.54
coef.variac	1.3668	1.5506	2.4842	2.3572	2.9726	2.6949
desv.estand	0.4295	0.4853	0.7656	0.6963	0.8121	0.7152

Comportamiento de los valores medio de la **temperatura media** para la zona estudiada.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	20.6	20.5	22.5	24.2	25.4	25.7
coef.variac	5.8109	3.5618	6.9811	4.9603	3.8464	4.3965
desv.estand	1.1361	0.6958	1.4942	1.1402	0.9288	1.0745

MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	26.3	26.1	25.5	24.6	22.7	21.2
coef.variac	2.6557	2.6354	3.7117	3.4507	6.3009	4.5940
desv.estand	0.6637	0.6546	0.8982	0.806	1.3587	0.9235

Comportamiento de los valores medio de la **temperatura mínima** para la zona estudiada.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	15.7	15.6	17.1	18.6	20.7	21.8
coef.variac	2.487	2.834	3.149	2.833	3.822	2.887
desv.estand	0.391	0.4422	0.5400	0.5270	0.790	0.6297

MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	21.9	21.8	21.7	20.8	18.7	16.6
coef.variac	4.146	2.887	2.573	3.511	3.222	2.868
desv.estand	0.9089	0.6297	0.5586	0.7302	0.6033	0.4760

Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa para la zona estudiada.

MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN
Media	78	75	74	73	78	83
coef.variac	1.2087	1.0886	1.1033	1.1184	1.0467	0.9837
desv.estand	0.9448	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164

MES	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Media	81	82	84	84	81	79
coef.variac	1.4255	0.9957	0.972	0.972	1.4255	1.0335
desv.estand	1.1547	0.8164	0.8164	0.8164	1.1547	0.8164

- Atendiendo a lo planteado por Díaz, (2013) para velocidades del viento superiores a 3 m/s corresponde una estabilidad atmosférica de categoría D y cuando son inferiores a la misma categoría F.

Rumbos	Frecuencia (%)	Velocidad media (m/s)
N	6,7	3,47
NNE	5,8	4,08
NE	9,4	4,17
ENE	9,1	4,69
E	15,7	4,28
ESE	4,0	3,97
SE	1,5	3,53
SSE	1,5	3,03
S	3,5	2,94
SSW	3,0	2,78
SW	1,8	2,42
WSW	2,1	2,33
WSW	0,7	2,75
WNW	0,7	3,33
NW	0,4	3,47
NNW	1,1	3,72
Calma	33	≤ 1

4. Se evalúa el escenario de Nube tóxica, atendiendo a las dos primeras condiciones y para los meses de: Enero, Abril, Julio y Octubre, definidos por Carménate, (2018).

2.6 Método “*Probit*”.

En este método se parte de una manifestación física de un incidente y brinda como resultado, una previsión de los daños a las personas expuestas al incidente, es decir: número de heridos por diferentes lesiones y número de víctimas fatales.

2.6.1-Vulnerabilidad a la inhalación de sustancias tóxicas.

Domínguez (2011) plantea que para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación ocasionada por inhalación de una sustancia tóxica, se utiliza la ecuación 2.1, sustituyendo el valor V por la expresión:

$$V = c^n * t$$

Donde:

c = Concentración (ppm).

t = Tiempo de exposición (minutos).

n = Exponente (0,6 - 3).

Los valores de las constantes a, b y n de la ecuación *Probit* relativas a las intoxicaciones letales se encuentran reportados. El valor tomado para cada sustancia, corresponde con el de una sustancia del mismo nivel de toxicidad que las objeto de estudio.

La ecuación *Probit* no es aplicable para concentraciones relativamente bajas y tiempos de exposición muy prolongados, cuyos métodos de valoración serían otros. Su uso está restringido al análisis de consecuencias agudas e inmediatas. Debe tenerse en cuenta que, dada una cierta concentración tóxica en una zona poblada, la población que efectivamente está en riesgo es la ubicada en exteriores. Los individuos en lugares cerrados se pueden considerar al abrigo de los efectos letales excepto en el caso de una duración excepcional del impacto tóxico en la zona. La ecuación *Probit* no es aplicable para concentraciones muy bajas y tiempos de exposición muy prolongados, cuyos métodos de valoración serían otros. Su uso está restringido al análisis de consecuencias agudas e inmediatas.

Constantes de toxicidad letal para la ecuación *Probit*.

SUSTANCIA	a (ppm)	b (ppm)	n (min)
ACRILONITRILLO	- 29,42	3,008	1,43
ACROLEINA	- 9,931	2,049	1
AMONIACO	- 35,9	1,85	2
BENCENO	- 109,78	5,3	2
BROMO	- 9,04	0,92	2
BROMURO DE METILO	- 56,81	5,27	1,00
CIANURO DE HIDROGENO	- 29,42	3,008	1,43
CLORO	- 8,29	0,92	2
CLORURO DE HIDROGENO	- 16,85	2,00	1,00
DIOXIDO DE AZUFRE	- 15,67	2,10	1,00
DIOXIDO DE NITROGENO	- 13,79	1,4	2
FLUORURO DE HIDROGENO	- 35,87	3,354	1,00
FORMALDEHIDO	- 12,24	1,3	2
FOSGENO	- 19,27	3,686	1
ISOCIANATO DE METILO	- 5,642	1,637	0,653
MONÓXIDO DE CARBONO	- 37,98	3,7	1
OXIDO DE PROPILENO	- 7,415	0,509	2,00
SULFURO DE HIDROGENO	- 31,42	3,008	1,43
TETRACLORURO DE CARBONO	- 6,29	0,408	2,50
TOLUENO	- 6,794	0,408	2,50

El procedimiento a seguir, es seleccionar de la tabla anterior los valores de las constantes correspondientes a la sustancia objeto de estudio, o en su defecto usar las constantes de una sustancia del mismo nivel de toxicidad que la investigada. A continuación se procede a determinar la proporción de la población afectada en función de la tabla de equivalencia entre valores *Probit* y porcentaje de la población afectada, que se muestra a continuación.

Tabla de equivalencia entre valores Probit y porcentaje de la población afectada.

Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%		
0	0	3,72	10	4,16	20	4,48	30	4,75	40	5,00	50	5,25	60	5,52	70	5,84	80	6,28	90	7,33	99,0
2,67	1	3,77	11	4,19	21	4,50	31	4,77	41	5,03	51	5,28	61	5,55	71	5,88	81	6,34	91	7,37	99,1
2,95	2	3,82	12	4,23	22	4,53	32	4,80	42	5,05	52	5,31	62	5,58	72	5,92	82	6,41	92	7,41	99,2
3,12	3	3,87	13	4,26	23	4,56	33	4,82	43	5,08	53	5,33	63	5,61	73	5,95	83	6,48	93	7,46	99,3
3,25	4	3,92	14	4,29	24	4,59	34	4,85	44	5,10	54	5,36	64	5,64	74	5,99	84	6,55	94	7,51	99,4
3,36	5	3,96	15	4,33	25	4,61	35	4,87	45	5,13	55	5,39	65	5,67	75	6,04	85	6,64	95	7,58	99,5
3,45	6	4,01	16	4,36	26	4,64	36	4,90	46	5,15	56	5,41	66	5,71	76	6,08	86	6,75	96	7,65	99,6
3,52	7	4,05	17	4,39	27	4,67	37	4,92	47	5,18	57	5,44	67	5,74	77	6,13	87	6,88	97	7,75	99,7
3,59	8	4,08	18	4,42	28	4,69	38	4,95	48	5,20	58	5,47	68	5,77	78	6,18	88	7,05	98	7,88	99,8
3,66	9	4,12	19	4,45	29	4,72	39	4,97	49	5,23	59	5,50	69	5,81	79	6,23	89	7,33	99	8,09	99,9

Fuente: Domínguez (2014).

Una vez obtenidos estos valores y disponiendo de los valores de la población asentada en cada consejo popular se puede calcular ,a partir de los porcentos de probit el número de personas afectadas.

Resultados del censo poblacional del año 2012 en los Consejos Populares de la ciudad de Matanzas.

Consejos Populares	Habitantes
Versalles	19 829
Reparto Dubroc	1360
Matanzas Este	17 769
Matanzas Oeste	23 980
Pueblo Nuevo	28 298
Peñas Altas	24 328
Playa	13 120

Conclusiones.

1. Las dos sustancias se consideran nocivas para la salud de las personas en varias categorías R, que incluyen daños a los ojos mucosos, tóxicos al ser inhaladas etc.
2. El empleo de software ALOHA, bajo las condiciones de trabajo establecidas permite determinar las áreas que son afectadas ante posibles accidentes por escapes de amoníaco y Disulfuro de Carbono en la zona industrial de Matanzas y su entorno.
3. El procedimiento establecido en este trabajo permitirá definir el nivel de afectación a la salud de la población del entorno, de los consejos populares y por supuesto la afectación a los propios trabajadores de cada entidad.

Recomendaciones.

Aplicar el Software ALOHA y el procedimiento propuesto para la evaluación de accidentes químicos con estas sustancias.

BILIOGRAFIA

Acosta, G. (2008) Evaluación de riesgos en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

ARCOPOL (2011). Manual de usuario ALOHA. Galicia: Editorial METEOGALICIA-UE.

Casal, et al. (2001), Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Alfa omega S.A., Bogotá (Colombia), ISBN: 958-682-287-7.

Casal, J.; Montiel, H.; Planas E. y Vílchez J.A. (2002). Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Barcelona: Editorial UPC. 361 p.

Ceballos, C. L (2003). Preparación para la defensa, sustancias tóxicas su protección. Félix Varela. La Habana, Cuba.

Commission, E. (1996). Technical Guidance Document on Risk Assessment for New Substances and Commission Regulation., European Commission, Luxemburgo. Ø

Colectivo de autores. (1999). Evaluación de riesgos químicos. PNUMA/IPCS. ONU.

Covello, V. & Merkhofer, M. 1993, Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks., Plenum Prees, New York.

Domínguez, J.R. (2014). *Análisis Cuantitativo de Riesgos en el ámbito de la Protección Civil: aplicación a una instalación de almacenamiento de productos químicos* (Tesis de pregrado). Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

Duffus, J.H, Worth, G.J. (1996). Fundamental Toxicology for Chemists. Royal Society of Chemistry, Londres.

EPA (2004). Guía del Usuario del Modelo SCREEN 3 U.S. Agencia de Protección Ambiental (EPA). [en línea]. [Consulta: 6 Febrero 2019] Disponible en: www.epa.gov/ttn/catc/dir2/scrn3ds.pdf.

Faustman, E. & Omenn, G. (1996). 'Risk Assessment', in Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, McGraw-Hill, New York, pp. 75-88.

FAGRON. (2014). Ficha de seguridad. Disulfuro de carbono. Versión: 8. Argentina

Gonzales, M. (2014-2015). *Riesgos Químicos*. [Curso Básico - Universidad Complutense de Madrid - PRL 2014-2015]. Madrid: Editorial Universitaria.

Hernández, L. (2009). Evaluación de los riesgos en el sistema de Calentamiento de Aire Regenerativo de la Central Termoeléctrica

IUPAC. (1993). *Glossary for chemists of terms used in toxicology*.

INDURA. (2018). Hoja de seguridad. Amoniaco. Versión: 1.0. Santiago, Chile.

Klaassen, C.D. (1996). Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons.

Manual de usuario del software ALOHA. (2007). Disponible en página Web de la facultad Química Mecánica. On line. www.fiqm.umcc.cu.

MERCK. (2017). Ficha de seguridad. Disulfuro de carbono. Versión: 8.10. Madrid, España.

Mijangos, O. & López, J. (2013). Metodologías para la identificación y valoración de impactos ambientales. *Temas de Ciencia y Tecnología*, 17 (50), 37-42.

Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.

Manual de Seguridad y Salud en el trabajo 2015

NIOSH. (2016). Immediately dangerous to life or health (IDLH) value profile: butane. OH: US Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH). Publication 2016-174.

Orozco, J.L. (2007). Guía para la caracterización de las sustancias. Universidad de Matanzas.

PNUMA/IPCS. (1999). Evaluación de riesgos químicos., Programa Nacional de las Naciones Unidas.

Rodríguez, D. G. (2004). Evaluación de riesgos industriales en la planta de ácido sulfúrico. Proyecto de curso, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.

Slideshare. (2012). *Clasificación de sustancias peligrosas según ONU*.

Recuperado de <http://www.slideshare.net/>

SLIDESHARE. (2017). Inh3. Recuperado de <http://www.slideshare.net/mobile/>

Orozco, J.L; Van Caneghem, J; Hens, L; González, L;Lugo, R; Díaz, S y Pedroso, I. (2019).Assessment of an ammonia incident in the industrial área of PROFERTIL. (2000). Material safety data sheet. Ammonia. Versión: 001. Bahía Blanca, Argentina.

Orozco,J.L(2007). Guía para la caracterización de las sustancias .Universidad de Matanzas

UNECE. (2015). *Clasificación*. Recuperado de

http://Tesis/clasificacion%20de%20riesgo/02_Part2.pdf

Matanzas. [en línea]. Production 222, p 934-941. [Consulta: 16 abril del 2019]. Disponible en: www.elsevier.com/locate/jclepro.

Vílchez, J.A. y Pérez, X. (2001). Análisis de riesgos ambientales y aplicación al diseño de instalaciones industriales. Trámites, Informes y Proyectos, S.L. Barcelona.

Wells, G. (2003). Majors Hazards and their management. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.

WMS. (2011). *Chemical products: Classification and Labeled Nueva York*.

[Cuarta edición revisada]. New York: Ediciones WMS.

Zagal, J. (1996). Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos. Disponible en Internet. On line.
<http://www.cepis.ops.oms.org/tutorial/fulltex/evaluación.html>.2009.

ANEXOS

Anexo 1: Direcciones del viento de interés en función de los Consejos Populares que pueden verse afectados por una nube de amoníaco.

Consejos Populares	Habitantes	Dirección del viento más riesgosas	Dirección de mayor riesgo(evaluar)

Anexo 2: Direcciones del viento de interés en función de los Consejos Populares que pueden verse afectados por una nube de Bisulfuro de Carbono.

Consejos Populares	Habitantes	Dirección del viento más riesgosas	Dirección de mayor riesgo(evaluar)

Anexo 5: Resultados del *software* ALOHA. Tanque de mayor capacidad.

Anexo 5a: Entorno cercano al Frigorífico.

Temperatura(°C)						
Nubosidad						
Humedad (%)		Para el Mes de mayores nubes tóxicas				
Local	Direcci · del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia media de la fuente de emisión al área (m).

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 5b: Entorno cercano a La Rayonera.

Temperatura(°C)			Para el Mes de mayores nubes tóxicas			
Nubosidad						
Humedad (%)						
Local	Direcci - del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia media de la fuente de emisión al área (m).

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica, en los locales cercanos a Rayonera..

Consejo Popular afectado	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% afectados

Anexo7: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica en los locales cercanos al Frigorífico.

Local	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% afectados