

Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ciencias Técnicas

Dpto. de Química



Trabajo de diploma

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.

Título: Evaluación de atmósferas peligrosas en diferentes empresas de la zona industrial de Matanzas, a partir de posibles accidentes con productos tóxicos.

Autor: Perelianne Martínez Cabrera

Tutor: MSc. Santiago Díaz Suárez

Matanzas, Cuba, 2020

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Nerelianne Martínez Cabrera, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la UEB Frigorífico El Cítrico, de la Empresa Rayonitro de Matanzas y de la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Nerelianne Martínez Cabrera

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma



“La vida no es fácil, para ninguno de nosotros. Pero... ¡Qué importa! Hay que perseverar y, sobre todo, tener confianza en uno mismo. Hay que sentirse dotado para realizar alguna cosa y que esa cosa hay que alcanzarla, cueste lo que cueste”

Marie Curie.

Dedicatoria.

A mi mami.

A mi eli.

A mi abu.

Agradecimientos.

A mi mamá por ser lo más grande que tengo en la vida.

A mi abuela Estrella por creer en mí.

A mi hermana por mantenerse cuerda a mi lado.

A mi hermano por llenar de risas mis días.

A Yariel por burlarse de mí.

A Yuniel por siempre estar dispuesto a ayudar.

*A esas amigas que son mi familia, Mari, Mabi y Sabro por darme su
positividad.*

*A mi tutor Santiago y su esposa Vilma por hacerme parte de su
familia.*

*A los trabajadores del Frigorífico por su atención y ayuda, Alejandro
gracias por dedicarme tu tiempo.*

Resumen.

Este trabajo de investigación se realiza en la UEB Frigorífico El Cítrico de Matanzas y la Empresa Rayonitro de Matanzas, ubicadas ambas entidades en la zona industrial de dicha provincia. En él mismo se determina el alcance que tiene una nube tóxica de Amoniaco y Disulfuro de Carbono, así como las áreas de riesgo dentro de la localidad. Mediante las ecuaciones *Probit* es determinado el porcentaje de las personas afectadas en los consejos populares y los locales cercanos a la fuente de emisión.

Abstract.

This investigation work is carried out in the Refrigerating UEB The Citric fruit of Matanzas and the Company Rayonitro of Matanzas, located both entities in the industrial area of this county. In him same the reach is determined that has a toxic cloud of Ammonia and Carbon Disulfide, as well as the areas of risk inside the town. By means of the equations *Probit* the percent of people affected in the popular advice and the near local to the emission source is determined.

Índice.

Introducción.....	1
Capítulo I: Análisis Bibliográfico.....	4
1.1-Definición de accidente, desastre y emergencia.....	4
1.2-Clasificación de las sustancias químicas.....	5
1.2.1-Clasificación de las sustancias químicas por categoría de riesgos.....	5
1.2.2-Clasificación de las sustancias químicas por su efecto toxicológico sobre el organismo.....	11
1.2.3-Clasificación de las sustancias químicas según las IUPAC.....	14
1.3-Gestión de la prevención de los riesgos químicos.....	15
1.3.1-Herramientas para la gestión de riesgos.....	16
1.4-La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera.....	17
1.5-Modelos de dispersión para la predicción del comportamiento de contaminantes en la atmósfera.....	21
1.6-Software de evaluación de áreas de atmósferas peligrosas.....	24
1.7-Métodos para la determinación del efecto de la radiación y la sobrepresión sobre las persona.....	26
1.8-Análisis histórico de accidentes.....	29
1.8.1-Registro histórico de accidentes producidos.....	30
1.9-Conclusiones Parciales.....	31

Capítulo II: Materiales y Métodos.....	32
2.1-Caracterización de las empresas objeto de estudio.....	32
2.1.1-Caracterización de la UEB Frigorífico El Cítrico.....	32
2.1.2-Caracterización de la empresa Rayonitro de Matanzas.....	33
2.2-Caracterización de las sustancias químicas según la IUPAC.....	33
2.3-Características y particularidades del <i>software</i> ALOHA.....	36
2.4-Metodología para determinar el efecto de radiación y la sobrepresión sobre las personas. Método <i>Probit</i>	41
2.4.1-Vulnerabilidad a la inhalación de sustancias tóxicas.....	42
2.4.2-Vulnerabilidad a explosiones.....	43
2.4.3-Vulnerabilidad a radiación térmica.....	44
Capítulo III: Análisis de los resultados.....	47
3.1-Análisis de las sustancias de interés.....	47
3.2-Probabilidad de ocurrencia de una nube tóxica.....	47
3.3-Establecimiento de las condiciones de trabajo con el <i>software</i>	48
3.4-Resultados de la aplicación del <i>software</i> ALOHA.....	49
3.4.1-Análisis de los resultados de las áreas de la nube de tóxica de Disulfuro de Carbono.....	49
3.4.2-Análisis de los resultados de las áreas de la nube de tóxica de Amoniacó..	55
3.5-Análisis de resultados alcanzados por <i>Probit</i>	61
3.5.1-Análisis de vulnerabilidad a la inhalación de sustancias tóxicas.....	61

3.5.1.1- Porcentaje de afectaciones obtenidos por <i>Probit</i> para el escenario nube tóxica, para el Amoníaco.....	62
3.5.1.2- Porcentaje de afectaciones obtenidos por <i>Probit</i> para el escenario nube tóxica, para el Disulfuro de Carbono.....	62
Conclusiones.....	66
Recomendaciones.....	67
Bibliografía.....	68
Anexos.....	74

Introducción.

En las últimas décadas se han presentado incidentes graves en la industria química, que han puesto en evidencia los riesgos asociados con la tecnología moderna, a éstos se suman los problemas ambientales ocasionados por las emisiones de contaminantes al aire, las descargas de sustancias tóxicas al agua y la generación de grandes volúmenes de residuos peligrosos por las actividades industriales.

Así, a la vez que se ha experimentado un desarrollo económico, consecuencia de este impulso, también ha incrementado la capacidad de manufactura y almacenamiento de cantidades elevadas de sustancias peligrosas en diferentes establecimientos, esto en los últimos años ha causado un acrecimiento tanto en número como en complejidad.

El surgimiento de estos complejos industriales, y los empleos que generan, han sido factores desencadenantes de la concentración de densos asentamientos humanos en torno a ellos, asimismo el aumento en el manejo de productos químicos, el transporte de éstos hacia las empresas y, a partir de ellas, incrementan, como resultado los riesgos de accidentes.

Con el progreso fabril en nuestro país, es mayor el número de sustancias que se manejan, y por tanto sus instalaciones se encuentran también en un alto nivel de riesgo.

La empresa Rayonitro de Matanzas y el Frigorífico El Cítrico, son lugares destinados al almacenamiento y comercialización de sustancias químicas; haciendo de la zona industrial, donde se encuentran, un área de alto riesgo. Dichas empresas tienen como política un ambiente de trabajo seguro y condiciones de bienestar físico-mentales para todos los trabajadores; creando las condiciones, capacidades y cultura para desarrollar la actividad laboral eficientemente, evitando sucesos no deseados para el trabajador y la empresa. Se declaran comprometidas las altas direcciones con la mejora continua en el desempeño de la seguridad y salud en el trabajo, la preservación del medio ambiente y la comunidad ante los riesgos asociados o desencadenados por la actividad que desempeña.

Por años han sido desarrolladas varias investigaciones encaminadas a estudiar los escenarios de accidentes químicos que pueden producirse en dichas empresas, con las diferentes sustancias que se almacenan. Los resultados obtenidos tienen un gran valor a la hora de la confección de los planes de protección y emergencia de dichos centros. Siguiendo diferentes criterios de investigación, los proyectos realizados hasta la fecha han tratado de ofrecer resultados que respondan a la probabilidad de ocurrencia en función de las características propias del área objeto de estudio, y de las sustancias almacenadas.

Al existir empresas y establecimientos con sustancias químicas por estudiar, las investigaciones realizadas hasta la fecha no son suficientes. Por lo antes expuesto, se plantea el siguiente **problema** de investigación:

¿Cómo determinar el peligro potencial que puede representar para la población o el medio ambiente posible accidentes químicos, por escapes de amoníaco y bisulfuro de carbono, en la zona industrial de Matanzas?

Para dar solución a este problema se propone la **hipótesis**:

Si se emplean técnicas de riesgo se podrá determinar las áreas que se afectarían ante accidentes químicos en la zona industrial de Matanzas y las concentraciones de las sustancias tóxicas de las mismas.

Se tiene como **objetivo general**: Evaluar las zonas que potencialmente pudieran ser comprometidas ante posibles accidentes químicos que ocurran con diferentes tipos de sustancias en la zona industrial de Matanzas.

Y como **objetivos Específicos**:

- ✓ Determinar el área de afectación para el escenario de nube tóxica, ante un escape de amoníaco y bisulfuro de carbono.
- ✓ Definir los niveles de riesgo vinculados a las áreas de los escenarios de cada tipo de sustancia.

- ✓ Determinar las afectaciones de una nube tóxica, de las diferentes sustancias investigadas, en las direcciones donde laboren los empleados de la empresa y donde mayor población existe, para las sustancias objeto de estudio.

Capítulo I: Análisis Bibliográfico.

En el presente capítulo se abordan los temas principales que fundamentan la temática investigativa, y que son indispensables para el desarrollo del proyecto en cuestión. Se dan a conocer los principales conceptos de emergencia, accidente y desastre; así como la forma de clasificar las sustancias peligrosas tanto por su efecto en el organismo, como por su categoría de riesgo, también se explican algunos de los software utilizados para trabajar en atmósferas tóxicas y el método que nos indicará el nivel de afectación en la población. Los documentos consultados destacan la evolución que ha tenido el tema hasta la actualidad.

1.1-Definición de accidente, desastre y emergencia.

Carbonell y Torres (2010) plantean que un riesgo es un fenómeno comprometedor del desarrollo tecnológico, generado por errores humanos y principal contribuyente a la ocurrencia de accidentes, desastres y emergencias.

- **Emergencia.**

Villalibre (2013) en su investigación indica que una emergencia es aquella situación que se presenta ante la combinación de factores conocidos, al surgir un fenómeno o suceso que no se esperaba, el cual es desagradable por causar daños en el medio ambiente, las personas, los servicios o nuestros bienes.

- **Accidente.**

TDI (2006) puntualiza que un accidente ocurre cuando una persona u objeto recibe una cantidad de energía o material peligroso que no puede ser absorbido de manera segura.

En 2012 se definió un accidente como un suceso que ocurre de forma inesperada. Sin intención y que genera un daño a un ser vivo o a una cosa; pueden suceder por motivos diversos y tener consecuencias muy diferentes (**Pérez y Gardey**).

Un estudio de accidentes de trabajo (**Adolfo, 2010**) indica que un accidentes es un error que alguien comete y que terminan produciendo daño a alguien o algo;

este error siempre es cometido por una persona, en las más básicas causas de los accidentes siempre se va a encontrar a una persona que por distintos motivos cometió un error; es decir, los accidentes son momentos o instancias de aprendizaje para las personas y las organizaciones.

- **Desastre.**

Charles Fritz en 1961 definió al desastre como un evento, concentrado en el tiempo y en el espacio, en el cual una sociedad, o una subdivisión de la sociedad, relativamente autosuficiente, sufre un daño severo e incurre en las pérdidas de sus miembros y pertenencias físicas, cuya estructura social se ve interrumpida e impedido el cumplimiento de todas o algunas de las funciones esenciales de la sociedad.

(Villalibre, 2013, pp. 7).

López (2010) expone que los desastres pueden considerarse como una serie de etapas en una secuencia de tiempo; estos pueden ser naturales (huracanes, terremotos, sequías, intensas lluvias) o tecnológicos (químicos, biológicos, radiológicos). También pueden ser llamados emergencia química cuando los factores normales de vida (o ecosistemas) han sido interrumpidos y se requieren extraordinarias interacciones de emergencias para salvar la vida humana y medioambiental.

Para la autora tanto accidente, como desastre y emergencia son palabras que se interrelacionan entre si ya que, un accidente es un suceso que ocurre de forma inesperada y el alcance de su consecuencia puede convertirlo en una emergencia, la cual si no es tratada de forma concisa llegaría a tomar el nombre de desastre.

1.2-Clasificación de las sustancias químicas.

1.2.1-Clasificación de las sustancias químicas por categoría de riesgos.

Bernabé (2014) plantea que las actividades industriales, comerciales y de servicio involucran la producción, almacenamiento y transporte de sustancias y materiales

peligrosos. Es indispensable que estas actividades se realicen de manera segura, para prevenir riesgos que puedan afectar a las personas, sus propiedades y al ambiente.

De acuerdo con la norma NOM-018-STPS-2000 “Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo”, la cual establece la forma de identificación y clasificación de las sustancias. Las propiedades que toma en cuenta son daños a la salud, inflamabilidad y radiactividad. Esta norma establece dos opciones de identificación, una en forma de rombo y otra de rectángulo, el modelo rombo coincide completamente con el sistema de identificación de materiales peligrosos establecido por la Asociación Nacional de Protección contra Incendios (National Fire Protection Association, NFPA) en el estándar NFPA 704, mientras que el modelo rectángulo concuerda con el Sistema de Identificación de Materiales Peligrosos HMIS por sus siglas en inglés (Hazardous Materials Identification System) desarrollado por la Asociación Nacional de Pinturas y Recubrimientos, ambos sistemas desarrollados en los Estados Unidos.

De esta forma queda establecido que el color azul es utilizado para las sustancias que afectan a la salud humana; el amarillo para las sustancias reactivas; el rojo para las inflamables y, por último, el blanco para las sustancias especiales.

Una vez establecido las propiedades que se toman en cuenta y los colores que las identifican, **(Morales, 2015)** plantea que para indicar el grado de peligro se les da valores en una escala de 0 a 4.

❖ **Salud (.)**.

- Fatal - 4
- Extremadamente peligroso - 3
- Peligroso - 2
- Ligeramente Peligroso - 1
- Material normal – 0

❖ **Inflamabilidad (.)**.

- Extremadamente Inflamable - 4
 - Inflamable - 3
 - Combustible - 2
 - Combustible si se caliente - 1
 - No se quemará -0
- ❖ **Reactividad ().**
- Detonación rápida - 4
 - Detonación pero requiere fuente de inicio - 3
 - Cambio químico violento - 2
 - Inestable si se caliente - 1
 - Estable – 0
- ❖ **Riesgos especiales ().**
- Oxidante - OXY
 - Corrosivo - CORR
 - Alkali - ALC
 - Ácido - ACID
 - No se use agua - W
 - Radioactivo – O

Este documento a su vez establece que las Naciones Unidas clasifican las sustancias químicas por clases, es decir, están estructuradas en 9 clases según sus propiedades y características.

❖ **Clase 1 - Explosivos.**

WMS (2011) establece que una sustancia explosiva es una sustancia sólida o líquida (o mezcla de sustancia) que, de manera espontánea, por reacción química, puede desprender gases a una temperatura, presión y velocidad tales que pueden ocasionar daños a su entorno. Estas no se clasifican como explosivos inestables, sino en una de las seis divisiones siguientes con arreglo al tipo de peligro:

- División 1.1: Sustancias, mezclas y objetos que presentan un peligro de explosión en masa (se extiende por explosión en masa la que

afecta de manera prácticamente instantánea a casi toda la cantidad presente).

- División 1.2: Sustancias, mezclas y objetos que presentan un peligro de proyección sin peligro de explosión en masa.
- División 1.3: Sustancias, mezclas y objetos que pueden provocar un incendio con ligero peligro de que se produzcan pequeños efectos de onda expansiva o de proyección, o ambos efectos, pero sin peligro de explosión en masa:
 - ✓ Aquellos cuya combustión de lugar a una radiación térmica considerable.
 - ✓ Los que arden uno a continuación de otro, con efectos mínimos de onda expansiva o de proyección o de ambas cosas.
- División 1.4: Sustancias, mezclas y objetos que solo presentan un pequeño peligro en caso de ignición o cebado. Los efectos se limitan en su mayor parte al bulto, y normalmente no dan lugar a la proyección de fragmentos de tamaño apreciable a gran distancia. Los incendios exteriores no habrán de provocar la explosión prácticamente instantánea de casi todo el contenido del bulto.
- División 1.5: Sustancias o mezclas muy insensibles que presentan un peligro de explosión en masa; sustancias y mezclas que presentan un peligro de explosión en masa, pero que son tan insensibles que presentan una probabilidad muy reducida de cebado o de que su combustión se transforme en detonación en condiciones normales.
- División 1.6: objetos extremadamente inestables que no presentan peligro de explosión en masa; objetos que contienen solamente sustancias o mezclas sumamente sensibles y que presentan una probabilidad ínfima de cebado o de propagación accidental.

❖ Clase 2 - Gases.

Los gases para (**Slideshare, 2012**) son sustancias que se encuentran totalmente en estado gaseoso y una presión estándar de 101, 325 Kpa. Existen gases:

Comprimidos: que se encuentran totalmente en estado gaseoso al ser empacados o envasados para el transporte, a 20°C.

Licuidos: que se encuentran parcialmente en estado líquido al ser empacados o envasados para el transporte, a 20°C.

Criogénico: que se encuentran parcialmente en estado líquido al ser empacados o envasados para el transporte a muy bajas temperaturas.

En solución: que se encuentran totalmente disueltos en un líquido al ser empacados o envasados para el transporte.

Con respecto al tipo de riesgo que ofrecen, los gases se clasifican en 3 subdivisiones:

- Subclase 2.1: gases inflamables, pueden incendiarse fácilmente en el aire cuando se mezclan en proporciones inferiores o iguales al 13% en volumen.
- Subclase 2.2: gases no inflamables, no tóxicos; pueden ser asfixiantes simples u oxidantes.
- Subclase 2.3: gases tóxicos, ocasionan peligro para la salud, son tóxicos o corrosivos.

❖ **Clase 3 -Líquidos Inflamables.**

Maggio (2009) expone que los líquidos inflamables son aquellos líquidos que pueden entrar en combustión, independiente de cuál sea su Flash Point (temperatura mínima en que un líquido desprende vapores suficientes como para encender, aunque no podrá seguir ardiendo sin la aplicación de calor adicional).

Morales (2015) plantea que los gases inflamables se clasifican según punto de inflamabilidad (PI) en 3 subdivisiones:

- División 3.1: P. I. Bajo (Inferior a -18°C)
- División 3.2: P.I. Medio (18-23°C)
- División 3.3: P. I. Alto (23-61°C)

❖ **Clase 4 -Sólidos Inflamables.**

UNECE (2015) define como sólidos inflamables a esas sustancias que pueden experimentar combustión, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables. Estos se dividen en 3 subdivisiones:

- División 4.1: Sólidos inflamables, sustancias de reacción espontánea y sólidos explosivos insensibilizados.
- División 4.2: Sustancias que pueden experimentar combustión espontánea.
- División 4.3: Sustancias que, en contacto con el agua, desprenden gases inflamables.

❖ **Clase 5 - Oxidantes y Peróxidos Orgánicos.**

Caritas Chile (2015) explica que esta clase se divide en dos subclases:

- Subclase 5.1: Sustancias oxidantes; generalmente contienen oxígeno y causan la combustión o contribuyen a ella.
- Subclase 5.2: Peróxidos orgánicos; sustancias de naturaleza orgánica que contienen estructuras bivalentes (-O-O-), que generalmente son inestables y pueden favorecer una descomposición explosiva, quemarse rápidamente, ser sensible al impacto o la fricción o ser altamente reactivas con otras sustancias.

❖ **Clase 6 - Sustancias Tóxicas e Infecciosas.**

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).

❖ **Clase 7 - Materiales radioactivos.**

SLIDESHARE (2012) sugiere que esta clase está conformada por materiales que contienen radionúcleos y su peligrosidad depende de la cantidad de radiación que genere, así como la clase de descomposición atómica que sufra. La contaminación por radioactividad empieza a ser considerada a partir de 0,4 Bq/cm² para emisiones beta y gama y 0,04 Bq/cm² para emisiones alfa.

❖ **Clase 8 - Sustancias Corrosivas.**

Morales (2015) nos muestra que las sustancias corrosivas son sólidas o líquidas que pueden dañar tejidos vivos o metales. Pueden generar vapores volátiles tóxicos y altamente irritantes.

❖ **Clase 9 - Sustancias Peligrosas Varias.**

SLIDESHARE (2012) deja esta clase para todos aquellos materiales que no se encuentran incluidos en las clases anteriores y por tanto pueden ser transportados en condiciones que deben ser estudiadas de manera particular.

1.2.2-Clasificación de las sustancias químicas por su efecto toxicológico sobre el organismo.

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, neumoconióticos, tóxicos generales, sensibilizantes, anestésicos y narcóticos; y no proporcional a la dosis, que se clasifican en cancerígenos, mutagénicos y teratógenos.

❖ **Sustancias asfixiantes.**

Gonzales (2014-2015) explica que las sustancias asfixiantes son las que impiden la oxigenación de las células. Se dividen en dos grupos, los simples que son los que desplazan el oxígeno del aire y los químicos que son los que bloquean la capacidad de la sangre para el transporte de oxígeno a los tejidos.

❖ **Sustancias irritantes.**

La **IUPAC (1993)** declara que la irritación dérmica es provocada por las sustancias consideradas como irritantes de la piel causan una inflamación significativa que puede persistir al menos durante 24 horas después de un período de exposición de hasta cuatro horas y se determina comúnmente 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 cuatro horas y el grado de irritación de la piel se "estima" en diferentes intervalos después de haber retirado el parche.

❖ **Sustancias corrosivas.**

La **NIOSH (2016)** indica que las sustancias corrosivas son las que producen daños más graves en la piel. La exposición breve a una sustancia corrosiva puede resultar en una quemadura química. Los efectos de una exposición a sustancias

corrosivas son permanentes ya que dejan cicatrices. Pueden ser materiales ácidos o básicos.

❖ **Sustancias neumocrónicas.**

Gonzales (2014-2015) cuenta como sustancias neumocrónicas a las que destruyen la difusión del oxígeno a consecuencia de su acumulación a nivel pulmonar.

❖ **Sustancias tóxicas generales.**

Gonzales (2014-2015) explica que las sustancias tóxicas generalmente son las que pasan a la sangre alterando órganos y sistemas específicos.

Hay que tener que tener en cuenta que dentro de esta clasificación encontramos a la toxicidad aguda y la toxicidad para la reproducción.

- **Toxicidad aguda.**

WMS (2011) manifiesta que la toxicidad aguda de una sustancia química se refiere a los efectos adversos que se manifiestan tras la administración por vía oral o cutánea de una sola dosis de dicha sustancia, de dosis múltiples administradas a lo largo de 24 horas, o como consecuencia de una inhalación por 4 horas.

- **Toxicidad para la reproducción.**

WMS (2011) declara que la toxicidad para la reproducción incluye los efectos adversos sobre la función sexual y la fertilidad de hombres y mujeres adultos y los efectos adversos sobre el desarrollo de los descendientes.

❖ **Sustancias sensibilizantes.**

NIOSH (2016) explica que las sustancias químicas pueden causar un efecto de sensibilización, cuando una persona se vuelve inusualmente sensible a cualquier sustancia, aunque sea mínima, podrá causar una reacción alérgica. Sus efectos pueden ser dermatitis de contacto alérgico y sensibilización de las vías respiratorias.

❖ **Sustancias anestésicas y narcóticas.**

Gonzales (2014-2015) establece como sustancias anestésicas y narcóticas a las que actúan sobre el sistema nervioso central y su potencialidad depende de la dosis y su característica de liposolubilidad.

❖ **Sustancias cancerígenas.**

WMS (2011) indica que las sustancias cancerígenas son aquellas que inducen cáncer o aumentan su incidencia y se dividen en dos categorías, la categoría 1 que son los carcinógenos o supuestos carcinógenos para el hombre y la categoría 2 que enmarca a las sustancias sospechosas de ser carcinógenas para el hombre.

❖ **Sustancias mutagénicas.**

WMS (2011) sugiere que las sustancias mutagénicas son los productos químicos capaces de inducir mutaciones en las células germinadas humanas transmisibles a los descendientes; se dividen en dos categorías, la categoría 1 para las sustancias que se sabe que inducen mutaciones hereditarias y la categoría 2 para las sustancias que son motivo de preocupación por la posibilidad de que puedan inducir mutaciones hereditarias.

❖ **Sustancias teratógenos.**

Gonzales (2014-2015) indica que las sustancias teratógenos son las que tienen la capacidad para producir alteraciones celulares y cromosómicas, causantes de las malformaciones en los individuos.

1.2.3-Clasificación de las sustancias químicas según las IUPAC.

Para la identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial **(Martínez, 2019)** especifica que el primer paso es la identificación y caracterización de las sustancias peligrosas que intervienen en el proceso. Las propiedades de las sustancias y sus condiciones en el proceso son los datos fundamentales de interés para los análisis posteriores de cada una de las sustancias peligrosas.

Según la **IUPAC (1993)** para caracterizar una sustancia debemos regirnos por siete pasos muy simples:

1. Identificación del producto.
2. Datos físicos
3. Formas de control y mitigación en casos de desastres.
4. Peligros para la salud
5. Datos de reactividad
6. Condiciones de almacenamiento y manipulación.
7. Condiciones para su uso en el proceso.

Cabe destacar que todas las sustancias químicas se rigen por este método para llenar la hoja de seguridad; para muchos es un método eficiente que permite conocer la información del producto de interés de forma rápida.

La autora valora y respeta la decisión de investigadores anteriores, al seleccionar este último método de clasificación de las sustancias químicas, al cual reconoce como principal ventaja los pasos que incluye en la estrategia de caracterización de las sustancias.

1.3-Gestión de la prevención de los riesgos químicos.

MONICA HERMOSA (2016) plantea que las sustancias o compuestos químicos y sus derivados forman parte de la vida moderna. Su utilización no solo se hace de manera directa, sino a través de sus productos procedentes como plásticos, fibras sintéticas, pinturas, pegantes, tintas, pigmentos, insecticidas, combustibles, gases industriales, aceites comestibles y miles de productos más, los cuales son parte del desarrollo y el bienestar de la humanidad. Sus desarrollos comerciales e industriales son aprovechados por miles de empresas y millones de personas en todo el mundo, para beneficio general. Pero durante su procesamiento, almacenamiento, transporte y uso pueden tener efectos contra la salud y la seguridad de las personas que los manejan o las instalaciones que los contienen, generando enfermedades laborales, accidentes de trabajo por contacto, incendios y explosiones.

Para prevenir estos efectos contra la salud y el medio ambiente es necesario implementar un programa de gestión.

Para llevar a cabo una gestión adecuada de los riesgos de las sustancias (**Sagardia, 2015**) señala que es necesario comenzar con la correcta identificación de las mismas, la evaluación de los riesgos por su utilización en la empresa, la difusión de las recomendaciones en la cadena de suministro (fabricantes o importadores, distribuidores o usuarios intermedios) y la implantación de las medidas de gestión del riesgo a través de los Escenarios de Exposición.

Una adecuada documentación permite a los trabajadores que manejan estas sustancias el conocimiento necesario para actuar ante un riesgo inminente.

1.3.1-Herramientas para la gestión de riesgos.

Un estudio del 2017 indica que en los últimos años la industria química ha ido avanzando rápidamente y con ello la gestión del riesgo químico también ha ido evolucionando. Los cambios normativos, las exposiciones combinadas a numerosos agentes químicos, el uso simultáneo de muchas sustancias en pequeñas cantidades, la falta de valores límite de exposición, la falta de estudios toxicológicos y la necesidad de facilitar a las empresas (en especial las pequeñas y medianas) las gestiones del riesgo químico han llevado al desarrollo de estrategias y metodologías para afrontar estos retos.

Las herramientas desarrolladas para la gestión de agentes químicos se podrían dividir en dos grupos:

1. Las **metodologías cualitativas** desarrolladas con el objetivo de dar cumplimiento a la normativa de seguridad y salud relacionada con la exposición a agentes químicos. Este utiliza métodos como:
 - El COSHH.
 - El INRS.
 - El Stoffenmanager.
 - ILO-International Chemical Control Toolkit.

- EMKG-Easyto Use BAuA.
- Regetox.
- KjemiRisk.
- SQRA.

Todos parten de los criterios toxicológicos y por tanto de los efectos para la salud, para establecer los distintos niveles o bandas de peligro.

2. Los **modelos de estimación de la exposición evalúan** y caracterizan la exposición sin tener en cuenta la toxicidad o peligro intrínseco. Los modelos frecuentes utilizados por la estimación de exposición son:

- EASE.
- MEASE.
- EMKG- EXPO-TOOL.
- ECETOC TRA Targeted Risk Assessment.
- Advanced REACH Tool (ART).

Para realizar las estimaciones de las exposiciones se debe partir de datos cuantitativos de mediciones que debieran existir generados por cumplimiento de la Directiva de agentes químicos 98/24/EC (en España, el Real Decreto 374/2001), y la obligatoriedad de tener disponible la evaluación de riesgos por exposición a agentes químicos (**Jiménez y Mira**).

1.4-La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera.

López (2010) remarca al término dispersión como aquella palabra utilizada en la modelación de accidente para describir la evolución de una nube tóxica o inflamable en la atmósfera. Incluyendo en este término el desplazamiento de la masa y su expansión en sentido transversal al viento.

CEUPE (2020) piensa que la mayoría de los contaminantes se difunden en la parte baja de la troposfera, donde interactúan entre sí con los demás compuestos presentes, antes de su deposición. Otros ascienden a alturas considerables y son

transportados hasta lugares muy alejados del foco emisor. Algunos logran traspasar la tropopausa e introducirse en la estratosfera.

El ciclo de emisión de los contaminantes se basa en tres partes:

- 1- Mezcla de contaminantes.
- 2- Procesos químicos y fotoquímicos.
- 3- Deposición.

Si los niveles de inmisión no son los adecuados, disminuye la calidad del aire y se originan efectos negativos sobre los seres humanos, la biosfera y los animales.

Los niveles de inmisión van a depender de factores como:

❖ **Las condiciones meteorológicas y climáticas.**

Esta viene dada por la estabilidad del aire; el mismo depende de:

- Inversiones: Son situaciones en las que se impide la circulación vertical del aire y por lo tanto los contaminantes se acumulan en las capas inferiores de la atmósfera.
- Viento: es la corriente de aire que se produce en la atmósfera por causas naturales, por el encuentro de diferentes presiones en áreas distintas. Siendo el viento una magnitud vectorial, en su predicción se hace constar la dirección y velocidad. Tienen una gran importancia en la dispersión de los contaminantes en función de sus características.
- Dirección: para la frecuencia y dirección del viento se usa la rosa de vientos de ocho direcciones: N, NE, E, SE, S, SW, W y NW.
- El movimiento del viento en superficie puede ser retardado por efectos de la fricción del suelo, la fricción es proporcional a la rugosidad que tenga la superficie, como los aspectos topográficos: montañas, valles, lagos, zonas de cultivos, bosques y edificios. La rugosidad aumenta en las zonas urbanas respecto a las rurales.
 - ✓ Velocidad

✓ Turbulencias

- Humedad relativa del aire: Es la proporción de vapor de agua real en el aire comparada con la cantidad de vapor de agua necesaria para la saturación a la temperatura correspondiente. La humedad relativa indica que tan cerca está el aire de la saturación. La humedad favorece la acumulación de contaminantes, y en determinados casos, SO₂, SO₃, NO₂, pueden reaccionar y formar ácidos corrosivos: lluvia ácida.
- Precipitaciones: Arrastran los contaminantes hacia el suelo. También pueden disolver algunos gases.
- Insolación: Factor esencial, ya que favorece la formación de contaminantes secundarios mediante reacciones de oxidación fotoquímica.

❖ **Las características geográficas y topográficas.**

La topografía es un factor muy influyente en los movimientos atmosféricos y por lo tanto en la dispersión de los contaminantes.

- Zonas costeras:
 - ✓ Brisas diurnas: transportan los contaminantes tierra adentro y por la noche sucede al revés.
 - ✓ El aire cargado de humedad puede favorecer la acumulación de contaminantes
- Valles fluviales y laderas:
 - ✓ Durante el día: se calientan las laderas y se generan corrientes ascendentes, quedándose en el valle el aire frío contaminado.
 - ✓ Durante la noche: el aire se enfría y desciende por las laderas acumulándose de nuevo en el fondo del valle. Las laderas dificultan el movimiento del aire y por lo tanto la dispersión de los contaminantes.

- Zonas urbanas:
 - ✓ Los edificios frenan los movimientos del aire y crean turbulencias: Las propias actividades urbanas (industria, tráfico, calefacciones, etc.) generan calor y se crea un microclima denominado isla de calor. En la periferia de la ciudad, la temperatura es más fría. Se dificulta la dispersión de los contaminantes, formando las cúpulas de contaminación. Estas situaciones se ven incrementadas en situaciones anticiclónicas y que pueden ser dispersadas por efecto de las lluvias y los vientos.
 - ✓ Los contaminantes contribuyen a la formación de tormentas, más frecuentes que en los alrededores de la ciudad.
- Zonas con vegetación:
 - ✓ Las zonas con vegetación hacen que disminuya o frene la velocidad del viento y provocan y facilitan la deposición de los contaminantes.
 - ✓ Además, la vegetación absorbe CO₂ (actúa como sumidero).
 - ✓ Fija los óxidos de azufre, oxigenándose el SO₂, dando lugar a sulfatos.
 - ✓ El plomo se acumula sin transformarse en las plantas, eliminándolos de la atmósfera.
 - ✓

❖ **Las características de las emisiones.**

Dependen de:

- Naturaleza de los contaminantes (Gases o Partículas).
- Temperatura de emisión, si es mayor que la del aire del medio, el gas asciende y se dispersa más fácilmente.
- Altura del foco emisor. A mayor altura mayor probabilidad de atravesar las capas de inversión y mayor facilidad de dispersión del contaminante.

- Velocidad de emisión. Influye en la dispersión de la nube de la sustancia emitida o escapada, es decir en su desplazamiento de la masa de contaminante y su expansión.

En el proceso de dispersión inicial son determinantes las dos escalas primeras, en las cuales influyen los fenómenos meteorológicos locales: vientos, turbulencia, estabilidad atmosférica y la topografía.

1.5-Modelos de dispersión para la predicción del comportamiento de contaminantes en la atmósfera.

Torres (2007-2008) expone que la dispersión de contaminantes atmosféricos es un proceso complejo para cuya evaluación es necesaria la aplicación de modelos. Los fenómenos que se desarrollan en la atmósfera no son controlables, ni reproducibles completamente en laboratorio. Por este motivo los modelos de dispersión de contaminantes son herramienta imprescindible en el estudio de la contaminación atmosférica. Estos pueden ser diferenciados por distintos campos:

1. Tipo básico de modelos existentes.

- Físicos: como representaciones a pequeña escala, como puede ser una réplica de una determinada área y el empleo de un túnel de viento.
- Matemáticos: basados en sistemas conceptuales y principios físico-químicos. A su vez dentro de estos modelos se pueden distinguir dos grupos, los modelos determinísticos basados en ecuaciones matemáticas (principalmente la ecuación de advección-difusión que representa los procesos atmosféricos) y los modelos empíricos, basados en relaciones estadísticas y empíricas entre los datos relativos a la contaminación (tanto los datos de emisión de la fuente como los de calidad del aire) y otras variables que puedan tener influencia sobre ellas.

2. Escala espacial de aplicación.

- “Street canyon”: estiman las concentraciones a nivel de calle, teniendo en cuenta las influencias derivadas de los edificios. Se trabaja en dominios espaciales de cálculo inferiores a 1 km (microescala).
- Escala local, el dominio habitual es de unos pocos kilómetros hasta distancias de unos 20 km de las fuentes emisoras.
- Local a regional, de aplicación a problemas de calidad del aire referidos al ozono, donde las reacciones fotoquímicas entre compuestos orgánicos volátiles y óxidos de nitrógeno tiene gran importancia. El dominio espacial de estudio puede estar definido entre 20 y 500 km.
- Regional a continental (escala sinóptica), en esta escala son de importancia los fenómenos meteorológicos de gran escala
- Global, simulan el transporte de contaminantes en toda la atmósfera terrestre. Se suele aplicar a estudios relativos de efecto invernadero, destrucción de la capa de ozono.

3. Escala temporal. Estos están asociados el tipo de modelo meteorológico.

- Modelos meteorológicos de pronóstico, proporcionan una predicción de la evolución de la atmósfera a partir de unas condiciones iniciales y de contorno y son por tanto modelos de mayor complejidad.
- Modelos meteorológicos de diagnóstico, proporcionan un diagnóstico de las condiciones presentes en cada instante a partir de datos registrados en estaciones meteorológicas. Los resultados de estos modelos son campos de diferentes parámetros meteorológicos obtenidos a partir de interpolaciones o extrapolaciones de las medidas meteorológicas disponibles.

4. Según el fin para que se empleen.

- Propósito de regulación: de uso para estudios de evaluación de impacto ambiental y estudios de contaminación atmosférica industrial.
- Apoyo a decisiones políticas: aplicable a regulación urbanística e industrial.

- Información pública: procesos fotoquímicos y generación de ozono, definición de redes de calidad del aire y complementado de la información
- Investigación científica: aplicables a estudios de cambio climático, lluvia ácida.

5. Según el tratamiento de distintos procesos.

- Modelos químicos o fotoquímicos: incluyen módulos para el cálculo de las transformaciones químicas. Estos módulos incluyen desde las reacciones químicas más sencillas hasta la descripción de las reacciones fotoquímicas más complejas.
- Modelos de deposición húmeda o seca.

6. Según el tratamiento de las ecuaciones de transporte

- Modelos gaussianos, es el más común de los modelos de contaminación atmosférica. Este modelo asume que la distribución de la concentración de contaminantes dentro de la pluma tiene una distribución gaussiana.
- Modelos eulerianos.
- Modelos lagrangianos.
- Modelos de receptores: en contraste con los modelos de dispersión, los modelos receptores comienzan con la observación de las concentraciones que llegan al receptor para posteriormente definir las fuentes que las provocan.

Manzur, Benzaly González (2012) en un estudio declararon que los modelos de dispersión tienen la capacidad de resolver de forma rápida ecuaciones de difusión aproximadas.

A pesar de que existen varios modelos de dispersión, el de interés es el modelo de dispersión gaussiano, ya que es el más usado por los técnicos para evaluar el efecto de las emisiones puntuales en distancias menores a 20 Km.

1.6-Software de evaluación de áreas de atmósferas peligrosas.

Para estimar las áreas de atmósferas peligrosas en la actualidad existen varios softwares, entre ellos encontramos:

❖ Software SCREEN.

Naranjo (2019) revela que el software SCEEN o modelo de pluma Gaussiana SCREEN como también es llamado fue creado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos 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.

Naranjo (2019) explica que para Castro D. y Castro K. en su primera fase el modelo proporciona un diagnóstico básico, presentando escenarios con diferentes condiciones meteorológicas en las que la fuente puede impactar con mayor intensidad. En la segunda fase, 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. Si los resultados de la segunda fase indican que existen problemas 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.

❖ Software DISPER 5.2.

Roche (2019) relata que 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 contaminante atmosférico

en el aire de menos de 10 micras de diámetro compuestos orgánicos volátiles, fotoquímicos, lluvia ácida, smog, etc.

❖ **Software DEGADIS.**

Hernández (2017) plantea que el modelo DEGADIS fue desarrollado originalmente para los Guardacostas de Estados Unidos y el Instituto de Investigación Gas, primordialmente para la simulación de la dispersión de gases criogénicos inflamables.

❖ **Software ALOHA.**

Díaz (2013) declara que el software ALOHA fue elaborado por técnicos y especialistas estadounidenses en respuesta a las emergencias de los vertimientos de los vapores químicos. Este programa es capaz de proporcionar la información en situaciones donde haya vertimientos de vapores y gases, calculando la dispersión del mismo en la atmósfera. Predice la concentración de los contaminantes en la dirección de los vientos y el tiempo máximo al que pueden estar sometidas las personas a la nube inflamable dentro de las edificaciones protectoras.

Piedra y Valdivieso (2013) opinan que ALOHA es un programa informático diseñado para ser usado por responsables de los servicios de emergencias ante accidentes químicos, así como para la planificación y entrenamiento ante situaciones de emergencia.

Renjith (2010) opina que ALOHA brinda información sobre algunas de las características del sitio del derrame, las condiciones meteorológicas y las circunstancias de la descarga.

Martín (2018) explica que este software ha sido uno de los más aplicados; al igual que la mayoría de programas de simulación, exige que se establezcan una serie de variables de entrada para modelar cada caso; integra representaciones gráficas para visualizar los resultados computacionales en forma de perfiles de

concentración en posiciones concretas especificadas por el usuario y estima la extensión espacial de la fuga representando gráficamente las zonas de amenaza, específicamente en los campos de riesgo para la salud humana.

Naranjo (2019) afirma que el programa está diseñado para minimizar los errores del operador, ya que avisa cuando se comete un error lo que permite su operación exitosa durante situaciones de alta presión.

La autora considera que el software ALOHA es el programa idóneo para evaluar las atmósferas tóxicas ya que el mismo ofrece sus resultados de forma rápida, especifica el riesgo para la salud humana, tiene un margen mínimo de error; permite obtener la dispersión de contaminantes en la atmósfera, sus concentraciones y alcance, además está avalado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA).

1.7-Métodos para la determinación del efecto de la radiación y la sobreexposición sobre las personas.

❖ Metodología *Ad hoc* (Panel de expertos).

Mijangos y López (2013) plantean que este método proporciona directrices para la evaluación de impacto y, principalmente, se basan en la consulta sistemática a expertos para:

- La identificación de los impactos, en sus áreas de conocimiento, que sobre el ambiente puede provocar un proyecto.
- Determinar las medidas correctivas.
- Asesorar en la implementación de procedimientos de seguimiento y control.

Por lo tanto, estos métodos presentan una gran dependencia del grado de conocimiento y experiencia de los participantes, así como de su disponibilidad. Además, los equipos de expertos deben ser formados para cada tipo de proyecto, siendo su principal desventaja el establecimiento de paneles de expertos

representativos para el análisis de todos los factores ambientales. Su ventaja se debe a que son métodos rápidos y fáciles de llevar a la práctica, permitiendo su adaptación a las necesidades particulares del proyecto.

❖ **Método de *Batelle*.**

Mijangos y López (2013) puntualizan que este método matricial fue diseñado para evaluar impactos de proyectos relacionados con recursos hídricos, aunque actualmente tiene una amplia aplicación ambiental. El método es un tipo de lista de verificación con escalas de ponderación que contempla la descripción de los factores ambientales, la ponderación valórica de cada aspecto y la asignación de unidades de importancia. El sistema consta de cuatro niveles: General (categorías ambientales), intermedia (componentes ambientales), específica (parámetros ambientales) y muy específica (medidas ambientales) (Espinoza, 2007). Las ventajas de esta metodología son: los resultados son cuantitativos y pueden compararse con los de otros proyectos sin tomar en cuenta el tipo o quién los realizó; es sistematizada para la comparación de alternativas (induce a la toma de decisión); y se ha destacado su valor para apreciar la degradación del medio como resultado del proyecto en su conjunto y en sus particularidades. Sus desventajas se resumen en: los índices de calidad ambiental disponibles son los desarrollados en su concepción natural (en Estados Unidos de América en proyectos hidráulicos) y no son válidos para medios distintos (requiere adaptabilidad en proyectos distintos); adicionalmente, la lista de indicadores es limitada y arbitraria, no toma en cuenta las relaciones entre componentes ambientales y las interacciones causa-efecto (Conesa, 1995), por lo que, esta metodología es rígida y no admite la consideración del dinamismo de los sistemas ambientales.

❖ ***Matriz para la evaluación Rápidas de Impactos (RIAM)*.**

FAO (1996) puntualiza que RIAM es un enfoque sistemático que usa datos cualitativos que pueden expresarse de una manera semicuantitativa. El método RIAM utiliza un equipo multidisciplinario para organizar el proceso de análisis en una forma interactiva y coherente que fomenta la participación en todo el proceso (Banco Interamericano de Desarrollo, 2010). El sistema permite crear un perfil de

impacto que permite al profesional hacer una comparación rápida de las opciones de desarrollo. Existen cuatro aspectos del ambiente que se analizan; físico-químico, biológico, humano y económico. El proceso que sigue RIAM es identificar cambios significativos (positivos y negativos) ocasionados por el proyecto, establecer valores de referencia para el plan de monitoreo, identificar las estrategias de mitigación y diseñar un sistema de monitoreo y evaluación para determinar la eficacia de las estrategias de mitigación.

IISD (2014) explica que utilizando el método RIAM, la participación pública ocurre en las etapas de recolección de datos y mitigación de impactos. Estas dos etapas son seguidas directamente por las medidas de control de calidad durante las etapas de análisis y monitoreo del programa. El equipo multidisciplinario permite que los datos de diferentes sectores sean analizados al mismo tiempo en una matriz común. Una evaluación rápida y clara de los impactos más importantes que el proyecto pueda tener se hace posible de este modo. Dicha matriz también permite al equipo comparar diferentes opciones de desarrollo en función de cómo los cuatro aspectos del ambiente pueden reaccionar a una medida.

❖ **Método *Probit*.**

Domínguez (2014) describe al método *Probit* como un método estadístico que nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo; 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, estos valores se encuentran tabulados para establecer la relación entre los mismos. Este método se puede emplear para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación, por radiación térmica y por sobrepresión.

La autora considera que el método *Probit* es el método idóneo para medir impacto ambiental ya que estima el porcentaje de la población que se encuentra afectada por un riesgo dígame intoxicación o sobrepresión, dando valores con un mínimo de error.

1.8-Análisis histórico de accidentes.

Carol (2001) cita que el objetivo primordial del análisis histórico es detectar los peligros presentes en una instalación por comparación con otras similares que hayan tenido accidentes registrados en el pasado. Analizando estos antecedentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, así como estimar la frecuencia de ocurrencia del suceso si la información en cuanto al número de accidentes, es suficiente.

El análisis histórico de accidentes 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 (**Casal et al, 2001 y Carol, 2001**).

Casal et al (2001) la técnica se basa en una recopilación de accidentes con productos químicos en forma de banco de datos donde se encuentra almacenada la información relativa a los mismos, la recogida sistemática de información relativa a diferentes accidentes ocurridos en el pasado en plantas químicas y actividades afines ha permitido, en algunos casos, la acumulación de datos concretos sobre una determinada situación, equipo u operación. A lo cual Carol, 2001 añade que es una metodología simple y económica ya que no compromete muchos recursos materiales o humanos y que su gran ventaja es que detecta peligros absolutamente reales que ya en el pasado se han puesto de manifiesto.

El análisis histórico de accidente como todas las técnicas de análisis de riesgos posee sus limitaciones. Algunas de estas según **Casal et al, (2001)** son:

- ✓ La instalación objeto de estudio no es exactamente igual a las que ya han sufrido accidentes.
- ✓ La información de los accidentes suele ser incompleta y. en muchas ocasiones, inexacta o de uso restringido.

- ✓ No da información sobre todos los accidentes posibles sino únicamente sobre los que han sucedido y se han documentado hasta la fecha.
- ✓ El acceso a los bancos de datos implica un cierto costo.

1.8.1-Registro histórico de accidentes producidos.

Los accidentes ocurridos en el pasado constituyen un conjunto de “datos experimentales”, obtenidos a menudo a un precio muy elevado, relativos a un campo en el que resulta casi imposible la experimentación a escala real: explosiones de todo tipo, confinadas y no confinadas, de polvo, de gas, *BLEVE*, incendios, formación de nubes tóxicas, entre otras.

El registro histórico de accidentes no es más que un banco de datos o registro donde se encuentra almacenada la información relativa a los mismos.

La recogida de información debe efectuarse de forma sistemática, teniendo especificado con claridad qué datos deben registrarse y con qué nivel de detalle. Entre los bancos de datos actuales más importantes se destacan los siguientes: *MHIDAS*, *FACTS*, *AICHE*, *OREDA*, *WOAD*, *MARS* y *SONATA*, cada uno complementado con miles de accidentes de todo el mundo y con la descripción necesaria y suficiente para el análisis de riesgos.

La recogida sistemática de información relativa a diferentes accidentes ocurridos en el pasado en plantas químicas y actividades afines ha permitido, en algunos casos, la acumulación de datos concretos sobre una determinada situación, equipo u operación: carga o descarga de cisternas, transporte de mercancías peligrosas, procesos de fabricación de un producto determinado, parques de almacenamiento, vertido de líquidos inflamables, escape de un gas tóxico, entre otras.

Aun cuando no se desarrolle un análisis estadístico en toda su extensión a partir de un registro histórico de accidentes, la probabilidad de ocurrencia del evento iniciar o escape del químico puede ser calculada, y esta probabilidad o frecuencia

será más confiable mientras mayor sea el número de accidentes registrados en el documento.

Los registros históricos de accidentes, encontrados en esta investigación son reportados en el primer anexo de las memorias de este trabajo, para ambas sustancias objetos de estudio.

1.9-Conclusiones Parciales.

- Se selecciona el método de clasificación de las sustancias químicas propuesto por la IUPAC, por las ventajas que ofrece en la caracterización de las mismas.
- Los registros históricos de accidentes pueden ser usados para calcular la probabilidad de ocurrencia de un accidente que da origen a una nube tóxica, por escape de una sustancia química.
- El software ALOHA se selecciona para la evaluación de nubes tóxicas, pues reúne todos los requisitos para ser empleado en esta investigación, se posee confianza en sus resultados, experiencia en su manejo, y además se encuentra avalado por la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos y aprobado por El Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.
- El método *Probit* resulta una adecuada técnica para evaluar los daños a tres de los principales factores del medio ambiente, el hombre, la naturaleza y la economía.

Capítulo II: Materiales y Métodos.

En este capítulo se realiza la caracterización de las empresas, donde se realiza la investigación, ubicadas en la zona industrial de Matanzas. También se describe la metodología propuesta por la IUPAC para clasificar las sustancias químicas, así como los pasos a seguir en la utilización del software ALOHA y el método *Probit*.

2.1-Caracterización de las empresas objeto de estudio.

2.1.1-Caracterización de la UEB Frigorífico El Cítrico.

La UEB Frigorífico, pertenece a la Empresa de Cítricos Victoria de Girón, del grupo frutícola del Ministerio de la Agricultura. Se encuentra ubicado al Sur del Reparto Dubroc, al Norte de la Bahía de Matanzas, al este de la Escuela Ernest Thelman y al oeste de la planta de gas. El local donde se construyó la parte de operaciones pertenecía al puerto, utilizándose una nave en desuso y adaptándola para esta tarea.

La actividad fundamental de esta instalación es la conservación en frío de frutas y hortalizas, así como jugos de cítricos, 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 balas diferentes:

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

Balas	Cantidad de balas	Capacidad(ton)
Lineal	1	1
Reserva	1	½
-30°C	1	2

-14°C	1	1 ½
-------	---	-----

Fuente: Elaboración propia.

El Promedio diario en conservación oscila entre las 2500 ton, para ello se cuenta con 5 cámaras con una capacidad de 17131 m³. El de promedio de congelación es de 3000 ton en 3 cámaras con una capacidad de 10469 m³ aproximadamente. Además posee dos antecámaras que se pueden utilizar en caso necesario en la conservación de frutas y hortalizas, oscilando entre las 3065.414 ton, aproximadamente 1970 m³.

2.1.2- 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 Norteoccidental 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 una serie de tanques y balas de Ácido sulfúrico, Amoníaco y Disulfuro de Carbono estando los mismos soportados en bases de gran consistencia.

2.2- Caracterización de las sustancias químicas según la IUPAC.

Para la identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial, el primer paso es la caracterización de las sustancias peligrosas que intervienen en el proceso. Esta se realiza por la siguiente guía:

1. Identificación del producto

- ✓ Nombre del producto.
- ✓ Formula Química.
- ✓ Etiquetado de peligro (frases R y S).

2. Datos físicos

- ✓ Apariencia.
- ✓ Punto de ebullición.

- ✓ Punto de fusión.
- ✓ Solubilidad.
- ✓ Densidad.
- ✓ T L V -límite superior de inflamabilidad.
- ✓ IPVS - Límite inferior de explosividad.
- ✓ Punto de congelación.
- ✓ Temperatura de autoignición.
- ✓ Coeficiente de expansión.
- ✓ Temperatura de inflamación.
- ✓ Energía mínima de ignición.
- ✓ Solubilidad.
- ✓ Presión de vapor.
- ✓ Biodegradabilidad.
- ✓ Corrosión.
- ✓ Capacidad calorífica.

3. Formas de control y mitigación en casos de desastres.

- ✓ Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.
- ✓ Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación).

4. Peligros para la salud

- ✓ Concentración permisible.
- ✓ Exposición permisible.
- ✓ Emergencias.
- ✓ Partes del cuerpo que afecta.
- ✓ Forma de entrada al organismo.
- ✓ Toxicidad (en este apartado deben llenar una tabla con la siguiente información).

Tabla 2.2: Clasificación toxicológica de las sustancias involucradas en el proceso.

Sust	Toxicidad							
	Tox. aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. para la reproducción

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

5. Datos de reactividad.

- ✓ Reacción principal y reacciones secundarias.
- ✓ Cinética de reacción.
- ✓ Contaminantes producidos.
- ✓ Reacciones de descomposición.

6. Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- ✓ Nombre del producto almacenado.
- ✓ Capacidad del recipiente de almacenamiento.
- ✓ Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal, etc.)
- ✓ Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro).
- ✓ Material de construcción.
- ✓ Protección del recipiente (interior o exterior).
- ✓ Existencia de accesorios en el recipiente y su localización.
- ✓ Condiciones de almacenamiento de la sustancia.
- ✓ Cantidad de sustancia almacenada.
- ✓ Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).
- ✓ Tipo de averías producidas.
- ✓ Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura, etc.)
- ✓ Características de los alrededores del recipiente.

7. Condiciones para su uso en el proceso.

- ✓ Uso en el proceso.
- ✓ Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, Temperatura, etc.)

- ✓ Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.
- ✓ Material de construcción de los equipos donde es usada.
- ✓ Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada.
- ✓ Diámetro de la tubería.
- ✓ Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería. (Deben señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al punto de almacenamiento.
- ✓ Material de construcción de los accesorios y las tuberías.
- ✓ Protección del sistema de tuberías.

2.3- Características y particularidades del software ALOHA.

Molina (2011) plantea que el programa ALOHA emplea en sus cálculos dos modelos de dispersión:

- Un modelo Gaussiano para gases ligeros que ascienden rápidamente
- El Degadis para gases densos que se dispersan a ras del suelo.

Ambos predicen la velocidad de emisión de vapores químicos que escapan a la atmósfera desde tuberías rotas, fugas de tanques, charcos de líquidos tóxicos en evaporación o directamente desde cualquier otra fuente de emisión. Por tanto, ALOHA es capaz de estimar cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental. En esta investigación se utiliza la versión 5.4.7 del 2018 que aporta resultados confiables.

Características del software:

- ✓ Puede modelar tres categorías de riesgo: la dispersión de gases tóxicos, incendios y explosiones.
- ✓ Modela cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos:
 - Dardos de fuego.
 - Piscinas de fuego.

- BLEVE.
 - Áreas inflamables.
 - Explosión de una nube de vapor.
- ✓ ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.

Pasos básicos a la hora de utilizar el ALOHA.

1. Indicar la ciudad, fecha y hora del accidente.
2. Seleccionar el producto químico liberado.
3. Introducir las condiciones meteorológicas.
4. Describir la descarga del producto químico.
5. Mostrar en un gráfico las “zonas de riesgo”.

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.

El Nivel de preocupación (LOC) requiere a su vez de una definición más precisa: se trata de un valor umbral a partir del cual se considera que los seres vivos y bienes materiales dentro de dicha zona se encuentran en peligro. Ese peligro puede ser de varios tipos: toxicidad, inflamabilidad o riesgo de incendio, radiación térmica emitida por un incendio y sobrepresión de una nube de vapor que puede causar una explosión.

Para compuestos inflamables que ya han comenzado a arder, ALOHA sólo muestra un posible escenario de peligro:

- ✓ Radiación térmica emitida por el incendio (*Thermal radiation*)

El usuario puede seleccionar entre los niveles de preocupación (LOCs) que almacena por defecto el ALOHA o definir un nuevo valor si dispone de información técnica suficiente para ello.

Se utilizan tres valores de LOC, medidos en kW/m².

- Rojo: 10 kW/m² (Potencialmente letal en 60 segundos).
- Naranja: 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado en 60 segundos).
- Amarillo: 2 kW/m² (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 (*Toxic Area of Vapor Cloud*), Zonas de Inflamabilidad elevada (*Flammable Area of Vapor Cloud*), explosión si se encendiese una chispa debido a la acumulación de vapores (*Blast Area of Vapor Cloud Explosion*).

✓ Dispersión de una Nube tóxica (*Toxic Area of Vapor Cloud*).

Para descargas accidentales de compuestos tóxicos existen diferentes niveles de preocupación (LOCs) que se pueden emplear. ALOHA utiliza los siguientes tipos de niveles de preocupación:

- AEGLs (*Acute Exposure Guideline Levels*): representan el umbral límite de exposición para la población general y son aplicables para períodos de exposición desde 10 minutos a 8 horas. Los valores AEGLs están definidos para tres niveles de daño, cada uno se caracteriza por un grado distinto de toxicidad.
- AEGL-1: es la concentración de una sustancia química en el aire (expresada en ppm o mg/m³) por encima de la cual se predice que la población en general podría experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos sintomáticos. Estos efectos son transitorios, no incapacitantes y reversibles una vez que cesa el período de exposición.
- AEGL-2: es la concentración de una sustancia química en el aire por encima de la cual se predice que la población en general 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 en general podría experimentar efectos amenazantes para la vida o incluso provocar la muerte.
- ERPGs (*Emergency Response Planning Guidelines*): se desarrollaron como directrices de planificación, para anticipar los efectos adversos sobre la salud humana causados por la exposición a una sustancia química tóxica. Existen tres directrices de daño: ERPG-1, ERPG-2 y ERPG-3. Todas ellas tienen en común que se han determinado para una hora de duración de la exposición al agente químico.
- ERPG-1: es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.
- ERPG-2: es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles, o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.
- ERPG-3: es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida.
- TEELs (*Temporary Emergency Exposure Limits*): son niveles de preocupación temporales similares a los ERPG, se utilizan cuando no están disponibles los ERPG para el compuesto químico liberado. Los TEELs se basan en límites de concentración o parámetros toxicológicos, los cuales incluyen una amplia variedad de efectos sobre la salud. 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 (*Inmediately Dangerousto Lifeor Health*):se trata de un límite originariamente establecido para seleccionar aparatos de respiración automáticos que deban emplearse en ciertos lugares de trabajo. 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.
- Zonas de Inflamabilidad elevada (*Flammable Area of Vapor Cloud*).

La zona inflamable es el área predicha por el ALOHA donde la concentración de vapor de una sustancia química con capacidad para arder a nivel del suelo, está dentro del rango de inflamabilidad y puede iniciarse un incendio si se produce alguna chispa en el ambiente.

Las zonas de riesgo estimadas por el ALOHA se utilizan para determinar si existen posibles fuentes de ignición en su radio de acción, y el nivel de congestión entendido como la densidad de obstáculos que generan turbulencia dentro de una nube de vapor, ambos parámetros son necesarios para que se produzca una explosión en la nube de vapor (*vapor cloud explosion*).

Los niveles de preocupación (LOC) que se emplean en este tipo de escenarios se denominan Límite inferior de explosividad (LEL) y Límite superior de explosividad(UEL), son los límites de la región inflamable de una nube de vapor y representan la concentración de combustible en aire.

- ✓ Riesgo de explosión (*Blast Area of Vapor Cloud Explosion*).

El nivel de preocupación (LOC) que se emplea para trazar las zonas de riesgos de una explosión es la sobrepresión u onda explosiva. Se trata del nivel umbral de presión de la onda explosiva a partir del cual puede existir determinado peligro.

El programa utiliza estos valores de umbrales para crear las siguientes zonas de riesgo:

- Rojo: 8.0 psi (destrucción de edificios).
- Naranja: 3.5 psi (probables lesiones graves).
- Amarillo: 1.0 psi (rotura de cristales).

✓ Determinar los niveles de riesgo en una ubicación específica.

Una vez trazadas las zonas de riesgo, basadas en alguno de los niveles de preocupación definidos anteriormente, se puede utilizar la opción "*Threat at Point*" para obtener información específica en puntos de interés (como escuelas y hospitales) dentro y alrededor de las zonas de riesgo.

A continuación, se presentan algunas **limitaciones del software ALOHA**:

- No tiene en cuenta velocidades del viento muy bajas (inferiores a 1 m/s).
- No predice correctamente el campo de acción de la nube tóxica si las condiciones atmosféricas son muy estables.
- Desigualdad de concentración cerca de la fuente de emisión del contaminante.
- No analiza mezclas de compuestos químicos.
- Supone que el suelo es plano alrededor del accidente.

2.4-Metodología para determinar el efecto de la radiación y la sobrepresión sobre las personas. Método *Probit*.

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

Carmenate (2018) muestra que la fórmula empleada para este modelo se basa en una función matemática lineal de carácter empírico extraída de estudios experimentales:

$$Pr = a + b * \ln V \quad 2.1$$

Donde:

Pr = *Probit* o función de probabilidad de daño sobre la población expuesta.

a = Constante dependiente del tipo de lesión y tipo de carga de exposición.

b = Constante dependiente del tipo de carga de exposición.

V = Variable que representa la carga de exposición.

Una vez determinado el valor *Probit*, se busca el porcentaje de personas implicadas en la tabla del anexo 4.

Este se puede emplear para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación, radiación térmica y sobrepresión.

2.4.1-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:

$$V = c^n * t \quad 2.2$$

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 en el anexo 4. El valor tomado para cada

sustancia, corresponde con el de una sustancia del mismo nivel de toxicidad que el 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.

2.4.2-Vulnerabilidad a explosiones.

Domínguez (2011) expone que los modelos de consecuencias de explosiones predicen el impacto de la sobrepresión originada por la explosión y la proyección de fragmentos volantes sobre las personas y objetos.

Al considerar las consecuencias sobre las personas se debe hacer distinción entre consecuencias directas e indirectas de una explosión. Entre las primeras están las lesiones de los pulmones y los tímpanos. Entre las segundas se encuentran las lesiones ocasionadas por proyección de fragmentos y por impacto del cuerpo contra obstáculos.

Las ecuaciones *Probit* para estas consecuencias se desglosan a continuación:

- ✓ Porcentaje de muertes por hemorragia pulmonar.

$$Pr = -77,1 + 6,91 * \ln P \quad 2.3$$

- ✓ Porcentaje de afectados por rotura de tímpano.

$$Pr = -15,6 + 1,93 * \ln P \quad 2.4$$

Donde P es la sobrepresión máxima (N/m²).

- ✓ Porcentaje de muertes por desplazamiento y colisión del cuerpo contra obstáculos.

$$Pr = -46,1 + 4,82 * \ln J \quad 2.5$$

- ✓ Porcentaje de lesionados por desplazamiento y colisión del cuerpo contra obstáculos.

$$Pr = -39,1 + 4,45 * \ln J \quad 2.6$$

Donde J es el impulso originado por la sobrepresión durante el tiempo de actuación (N. s/m²).

A continuación, se indican valores de referencia de consecuencias sobre edificios según la sobrepresión alcanzada:

- Daños importantes en edificios (casi completa destrucción): 0,35 bar
- Daños reparables en edificios: 0,10 bar
- Rotura de cristales en edificios: 0,05 bar

Aunque existen modelos de vulnerabilidad para impacto de fragmentos metálicos de los recipientes, proyectados en una explosión, no se han considerado suficientemente representativos y fiables para incluirlos. Cabe destacar que los fragmentos de considerable tamaño pueden alcanzar distancias incluso superiores a 1 km. La Organización holandesa para la investigación científica (TNO) indica que los proyectiles con una energía cinética de 100 julios pueden ocasionar víctimas mortales.

2.4.3-Vulnerabilidad a radiaciones térmicas.

Domínguez (2011) plantea que este término se emplea para determinar el porcentaje de personas afectadas por las radiaciones térmicas, en función de la

intensidad de irradiación recibida y del tiempo de exposición (dosis de radiación calorífica recibida).

En el caso de fugas de líquidos y gases inflamables con una ignición inmediata, se podrá generar un charco ardiendo, una explosión BLEVE o un chorro con llamarada. Las lesiones ocasionadas serán causadas principalmente por radiaciones térmicas.

Si el gas no se enciende inmediatamente, se dispersará en la atmósfera. Si la nube de gas formada se encuentra con un foco de ignición en sus proximidades, se supone que cualquier persona presente dentro de la nube de gas ardiendo morirá a consecuencia de quemaduras y asfixia. En la zona externa a la nube de gas, aunque la duración de la radiación térmica generalmente será breve, los daños estarán en función de la distancia y habrán de ser evaluados en cada caso.

La institución holandesa TNO presenta las ecuaciones *Probit* siguientes:

- ✓ Quemaduras mortales (protegidos con ropas):
$$Pr = -37,23 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.7$$
- ✓ Quemaduras mortales (sin protección):
$$Pr = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.8$$
- ✓ Quemaduras de segundo grado:
$$Pr = -43,14 + 3,0188 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.9$$
- ✓ Quemaduras de primer grado:
$$Pr = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.10$$

Donde:

t = Tiempo efectivo de exposición (s).

I = Intensidad de irradiación (W/m²).

Cabe destacar que en la presente tesis solo se utilizarán los cálculos para determinar el porcentaje de personas afectadas según la vulnerabilidad por inhalación de las sustancias tóxicas.

Capítulo III: Análisis de los Resultados.

En este capítulo se ofrecen los principales resultados obtenidos de esta investigación, en relación con la formación de nubes tóxicas que pueden afectar tanto a las instalaciones donde se almacenan los químicos como a la población de la ciudad de Matanzas.

3.1-Análisis de las sustancias de interés.

Las sustancias, objeto de estudio son el Disulfuro de Carbono y el Amoníaco, de acuerdo con las sugerencias del anexo 3, se reportan los resultados de la evaluación de ambas sustancias en el anexo 1. 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 mucosas, tóxicas al ser inhaladas etc.

3.2-Probabilidad de ocurrencia de una nube tóxica.

La formación de una nube tóxica de cualquier sustancia, como las investigadas, puede ser estimada a partir de un registro histórico de accidentes, como los que se muestran en el anexo 6. Para ello, a partir del registro histórico de accidentes, se debe dividir el número de accidente entre el número de años transcurridos y se calcula la frecuencia inicial del accidente o evento. Esta frecuencia se debe multiplicar por las frecuencias de los posibles eventos incluyendo la estabilidad atmosférica según se muestra a continuación.

Para obtener la frecuencia de aparición de una nube tóxica es necesario tener en cuenta las frecuencias de aparición de los diferentes tipos de estabilidad atmosférica, así como la frecuencia de distintos tipos de situaciones o eventos que deciden la aparición o no de la misma. Estos eventos y sus frecuencias para la zona objeto de estudio son los que se muestran a continuación.

Tabla 3.1: Probabilidad de la ocurrencia de un Accidente.

Suceso inicial	Tipo de atmósfera	Ignición inmediata	Ignición retardada	Explosión de la nube de vapor.
1.04	0.44	0.1	0.9	0.4

Fuente: Elaboración propia.

De esta manera, usando el registro histórico que aparece en el anexo 6a, se obtiene que la frecuencia de aparición de la nube tóxica de amoniaco pueda ser de 0.016 veces al año.

3.3-Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software.

Para trabajar con el *software* ALOHA, se establecen las condiciones de trabajo siguientes:

Trabajar con los valores medios de las variables que caracterizan a la década analizada según los estudios realizados por Moya (2010), López (2010) y Nguyen (2011).

1. Se evalúan las direcciones del viento donde se encuentran las áreas con mayor concentración de trabajadores dentro de la UEB y las correspondientes a los Consejos Populares más poblados del municipio de Matanzas. Estas direcciones son: SE, E, NNE, NW y NNW Además, se evalúa el estado de calma.
2. 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.
3. Se evalúa el escenario de Nube tóxica, atendiendo a la segunda condición y para los meses de: Enero, Abril, Julio y Octubre, definidos por Carménate (2018).

3.4-Resultados de la aplicación del software ALOHA.

Esta investigación se realizó para determinar las dimensiones de las nubes tóxicas de Disulfuro y Amoníaco, así como los niveles de concentración que pueden originarse y afectar tanto a los establecimientos donde se almacenan estas sustancias, como a diferentes zonas de la ciudad de Matanzas.

3.4.1-Análisis de los resultados de las áreas de la nube de tóxica de Disulfuro de Carbono.

A continuación se estima el comportamiento de la nube tóxica de Disulfuro de Carbono, para cada uno de los meses definidos, obteniéndose las diferentes áreas exteriores de peligro, así como, el comportamiento de dicha nube en las direcciones del viento de interés vinculada a los consejos populares y locales cercanos a la fuente de emisión.

Se muestra el área de atmósfera peligrosa para la dirección Este del viento, en el mes de Octubre de una nube de Disulfuro de Carbono.

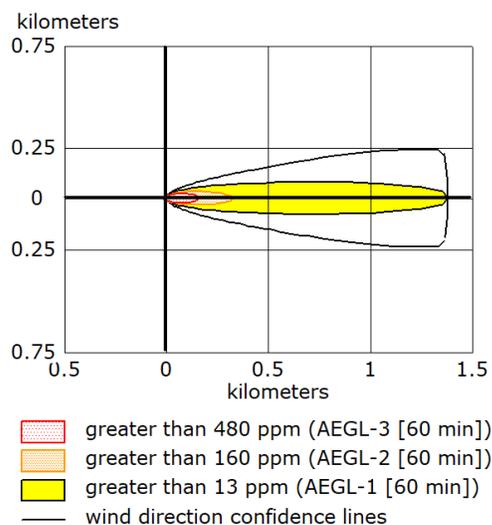


Figura 3.1: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica de Disulfuro de Carbono.

El gráfico mostrado ofrece por el eje de las X la distancia que alcanza la dispersión de la nube tóxica, y por el eje de las Y el ancho de la misma.

Además de las tres zonas delimitadas por diferentes colores, las mismas indican la concentración del tóxico. La línea negra muestra la zona de posible afectación y que varía si lo hacen las variables climatológicas.

La zona roja posee una concentración mayor o igual a 480 ppm, a la que le corresponde un AEGL-3, que es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos a ella se encuentran en condiciones de riesgo para su vida.

La zona naranja posee una concentración mayor o igual a 160 ppm, que equivale a un AEGL-2, que es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos a ella pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impida tomar decisiones para protegerse.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 13 ppm, a la que le corresponde un AEGL-1, que equivale a la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

Como se observa en el mes de Octubre para la dirección E, bajo las condiciones climatológicas correspondientes, se obtiene que en la nube tóxica el área de mayor peligro alcanza más de 162 m de largo y poco menos de 24 m de ancho. Se nota que el área en la cual se puede afectar irreversiblemente la salud de las personas y/o dejarlas en condiciones que les impidan hacer esfuerzos por conservar su vida, tiene una longitud aproximadamente 332 m y un ancho de unos 52 m. Finalmente se puede interpretar de la figura anterior que el área de menor riesgo posee aproximadamente un largo y un ancho de 1400 y 142 metros respectivamente.

El comportamiento de la concentración de Disulfuro de Carbono, al cabo de 60 minutos en el interior de locales cerrado a 100 m de la fuente, en las oficinas y otras instalaciones, se muestra a continuación.

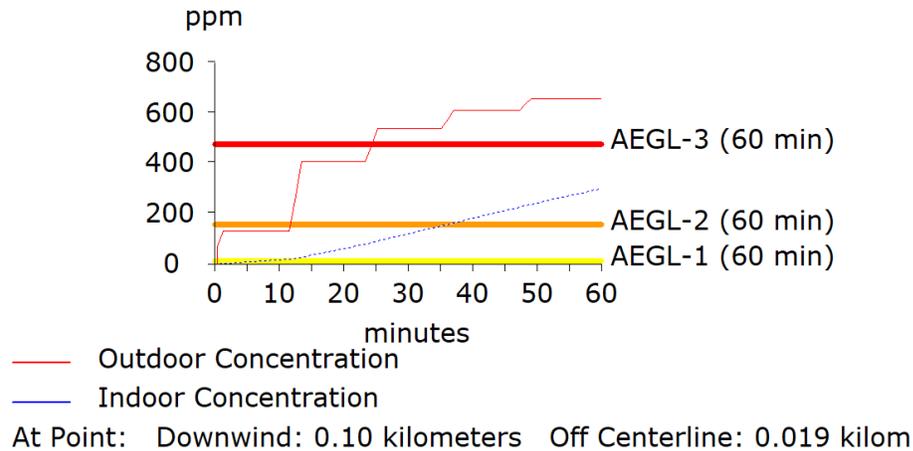


Figura 3.2:Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 100 m de la fuente.

Obsérvese en la figura anterior que la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua (roja) en el exterior, además el término *At Point* identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento.

De acuerdo con lo anterior la figura 3.4 corresponde a un punto situado a 0.10 km de la fuente de emisión, en la zona roja.

Se puede observar que, transcurridos apenas 35 minutos de la emisión, en el interior de los locales se alcanza una concentración que supera el AEGL-2, por lo que los individuos situados en este lugar, lo que equivale a decir que los individuos expuestos a esta concentración de la sustancia pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impida tomar decisiones para protegerse. Mientras esto puede estar ocurriendo en el interior de un local en ese mismo instante en el exterior la concentración es superior a los 655 ppm lo cual resulta letal, de forma tal que es imposible ofrecer ayuda a las personas que se

encuentran en estos locales. Lo antes expuesto permite tener una idea clara de la magnitud del peligro ante un accidente de este tipo.

Finalmente debe tenerse en cuenta que los niveles que establece el software ALOHA no consideran el efecto del sinergismo, bajo el cual las personas sufrirían daños mayores o pudieran perder la vida aun cuando no se encuentren en la zona de mayor riesgo.

Resulta importante mostrar el comportamiento de la dispersión de la nube para el caso de menor velocidad del viento, que se corresponde con la misma dirección Este, para el propio mes de Octubre.

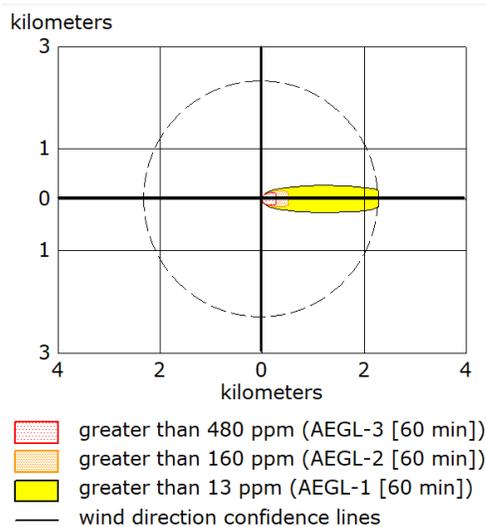


Figura 3.3: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica de Disulfuro de Carbono, en condiciones de calma.

Como se aprecia en la figura anterior las áreas de riesgo son mayores para el caso de menor velocidad del viento, debido a que menores velocidades del viento la atmósfera es más estable. Por lo tanto, para estas condiciones atmosféricas las áreas de riesgo que se originan son prácticamente el doble del largo de las áreas obtenidas con respecto al ejemplo anterior.

De igual manera se puede observar una acentuada diferencia con respecto al caso anteriormente analizado, en cuanto al comportamiento de las concentraciones del gas a 100 metros de la fuente, según se muestra en la siguiente figura.

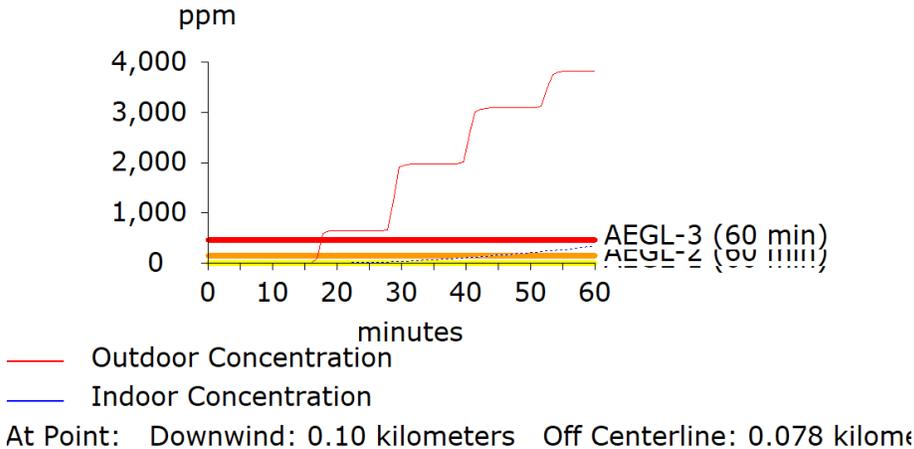


Figura 3.4: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 100 m de la fuente en el estado de calma en locales interiores.

Se aprecia en el gráfico que transcurridos apenas 20 minutos se alcanza un nivel de concentración en locales interiores correspondiente a AEGL-2, pero con concentraciones muy cercanas a un AEGL-3 y en ese mismo momento la concentración del gas de Disulfuro de Carbono en el exterior supera los 500 ppm, por lo que las áreas de riesgo generadas bajo esta condición son potencialmente más peligrosas.

Si se compara el área que puede abarcar una nube tóxica de Disulfuro de Carbono, para las diferentes direcciones de interés, en función de la ubicación de los consejos populares, se pueden detectar si son afectados o no por este escenario. Ver anexos 7 y 8a.

Tabla 3.2: Dimensiones de la nube tóxica de Disulfuro de Carbono.

Las condiciones de este período solo permiten evaluar este escenario para el tanque de mayor capacidad de este químico.

Temperatura(°C)		24.6	Octubre			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
Consejo popular	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).
Playa	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	28.83	3670
			AEGL-2(160)	341	53.2	
			AEGL-1(13)	1500	142	
Pueblo Nuevo.	NNE	4.08	AEGL-3(480)	163	15	3840
			AEGL-2(160)	333	50.1	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	1930
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Reparto Dubroc	NNE	calma	AEGL-3(480)	287	156	1010
			AEGL-2(160)	528	200	
			AEGL-1(13)	2300	460	
	NNE	4.08	AEGL-3(480)	163	15	
			AEGL-2(160)	333	50.1	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas este	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	3170
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Matanzas oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	3720
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Peñas A.	NW	3.47	AEGL-3(480)	172	49.7	4450
			AEGL-2(160)	348	80.8	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia.

Con concentraciones correspondientes a un AEGL-1, la población del consejo popular del Reparto Dubroc es afectada, pudiendo sufrir sus habitantes efectos moderados sobre su salud, como fuertes cefaleas, vómitos, afectaciones menores para la salud, etc.

En el anexo 9b se muestran los resultados para el resto de los meses en las direcciones del viento investigadas. Se puede apreciar en los mismos que no se afecta los consejos populares de la provincia de Matanzas por la formación de una nube de Disulfuro de Carbono ante un escape que se produzca.

3.4.2-Análisis de los resultados de las áreas de la nube de tóxica de Amoniaco.

Para estimar el comportamiento de la nube tóxica de Amoniaco, se aplicó el software para cada uno de los meses definidos, obteniéndose las diferentes áreas exteriores de peligro, así como, el comportamiento de dicha nube en áreas interiores de locales cercanos a la fuente de emisión.

A continuación, se muestra el área de atmósfera peligrosa para la dirección del viento E, en el mes de Octubre.

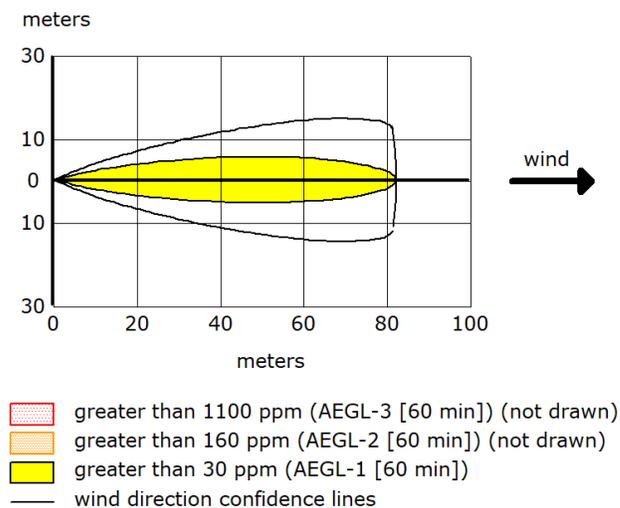


Figura 3.1: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica de Amoniaco.

El gráfico mostrado ofrece por el eje de las X la distancia que alcanza la dispersión de la nube tóxica, y por el eje de las Y el ancho de la misma.

Además, aparece solo la zona correspondiente AEGL-1, representado en el gráfico con color amarillo en la cual la concentración corresponde a un efecto nocivo ligero en la población. La línea negra representa la zona de posible afectación y que debe ser de cuidado por los daños que en la misma se pueda producir, si variara de repente alguna de las variables climatológicas.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 30 ppm, que equivale a la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

Finalmente se puede interpretar de la figura anterior que el área de menor riesgo posee aproximadamente un largo y un ancho de 82 y 10.6 metros respectivamente.

Mediante el software se obtuvo también el comportamiento de la concentración del Amoníaco al cabo de 60 minutos en el interior de locales que pueden estar ubicados a diferentes distancias del foco de la dispersión. En este caso se muestra el comportamiento de la concentración de la sustancia de estudio a 60 m de la fuente.

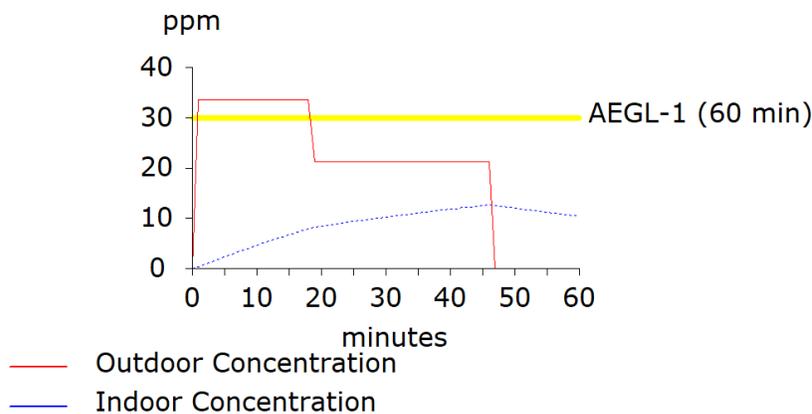


Figura 3.2:Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 60 m de la fuente en locales interiores.

Obsérvese en la figura anterior que la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua (roja) en el exterior, además el término *At Point* identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento.

Se nota claramente que en el interior de los locales no se corre peligro alguno puesto que no se alcanza ni siquiera la concentración correspondiente a un nivel 1 de riesgo.

Finalmente debe tenerse en cuenta que los niveles que establece el software ALOHA no consideran el efecto del sinergismo, bajo el cual las personas sufrirían daños mayores o pudieran perder la vida aun cuando no se encuentren en la zona de mayor riesgo. Es decir que las afectaciones que manifiestan los diferentes niveles son para personas presuntamente sanas.

Resulta importante mostrar el comportamiento de la dispersión de la nube para el caso de menor velocidad del viento, que se corresponde con la misma dirección N, para el propio mes de enero.

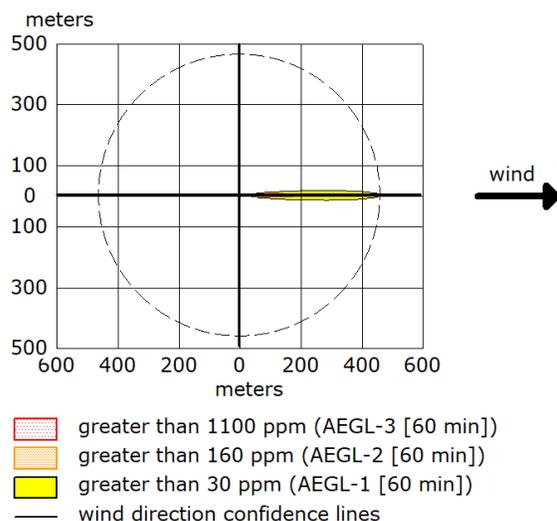


Figura 3.3: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica de Amoníaco en condiciones de calma.

Como se aprecia en la figura anterior las áreas de riesgo son mayores para el caso de menor velocidad del viento, ya que a menores velocidades del viento la atmósfera es más estable. Por lo tanto, para estas condiciones atmosféricas las áreas de riesgo que se originan son prácticamente el doble del largo de las áreas obtenidas con respecto al ejemplo anterior.

De igual manera se puede observar una acentuada diferencia con respecto al caso anteriormente analizado, en cuanto al comportamiento de las concentraciones del gas de amoniaco a 4.35 metros de la fuente, según se muestra en la siguiente figura:

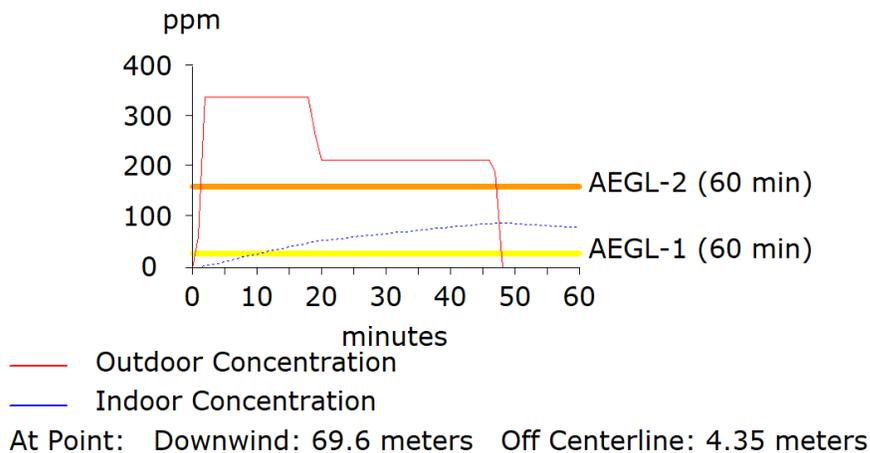


Figura 3.4: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 4.35 m de la fuente.

Se aprecia en el gráfico que transcurridos apenas 9 minutos se alcanza un nivel de concentración en locales interiores correspondiente a AEGL-1, pero con concentraciones muy distantes a un AEGL-2 y en ese mismo momento la concentración del gas de Amoníaco en el exterior alcanza los 350 ppm, pero sin llegar nunca al nivel de riesgo de AEGL-3. De manera tal que mientras en el local interior las personas pueden sentir afectaciones moderadas sobre su cuerpo en el

exterior en ese momento los daños para las personas pueden llegar a ser irreversibles a la vez que los invalida para auxiliarse a sí mismo.

Si se compara el área que puede abarcar una nube tóxica de amoníaco para las diferentes direcciones de interés, en función de la ubicación de los consejos populares, se pueden detectar resultados importantes. Ver anexos 7 y 8.

Tabla 3.1: Dimensiones de la nube tóxica de Amoníaco.

Temperatura(°C)		24.6	Octubre			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
Consejo popular	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).
Playa	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	28.83	3670
			AEGL-2(160)	341	53.2	
			AEGL-1(13)	1500	142	
Pueblo Nuevo.	NNE	4.08	AEGL-3(480)	163	15	3840
			AEGL-2(160)	333	50.1	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	1930
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Reparto Dubroc	NNE	Calma	AEGL-3(480)	287	156	1010
			AEGL-2(160)	528	200	
			AEGL-1(13)	2300	460	
	NNE	4.08	AEGL-3(480)	163	15	
			AEGL-2(160)	333	50.1	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas este	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	3170
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Matanzas oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	3720
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Peñas A.	NW	3.47	AEGL-3(480)	172	49.7	4450
			AEGL-2(160)	348	80.8	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia.

Las condiciones de este período solo permiten evaluar este escenario para el tanque de mayor capacidad del Frigorífico El Cítrico, es decir para el tanque - 30°C.

Ni con concentraciones correspondientes a un AEGL-1 se afecta los consejos populares por lo que se puede afirmar que las nubes toxicas de amoniaco que se pudieran originar debido a un escape en el frigorífico no afectará a la población.

En el anexo 9a se muestran los resultados para el resto de los meses en las direcciones del viento investigadas. La figura que a continuación se muestra refleja la afectación sobre la zona de estudio.

3.5-Análisis de resultados alcanzados por *Probit*.

El escenario estudiado puede provocar afectaciones a las personas, para definir si esto ocurre o no para el personal de la empresa, sus alrededores y para los habitantes de los consejos populares, se interpretan los siguientes datos y resultados.

3.5-Análisis de vulnerabilidad a la inhalación de sustancias tóxicas.

A continuación, se analizan los efectos causados por inhalación de los químicos estudiados, para ello son mostrados los porcentajes de afectaciones provocadas a las personas por una nube tóxica de dichas sustancias.

Los valores de concentración utilizados para determinar el valor *Probit* fueron tomados de la evaluación del escenario, mediante el *software* ALOHA, a la distancia que se encuentra cada local afectado, o consejo popular afectado de la fuente y en las direcciones del viento correspondiente. Mientras que las variables restantes fueron tomadas del anexo 4a, en dicho anexo aparecen los valores de las variables para el Amoniaco, pero para el Disulfuro de Carbono no, por lo que se tomó los valores de la Acroleina, ya que es la sustancia con mayor grado de toxicidad en la tabla. Una vez determinado el *Probit*, con este valor se prosigue a ir al anexo 4 para poder conocer el porciento de afectados por consejos y localidades.

3.5.1-Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica, para el Amoniaco.

Las distancias que llegan a alcanzar las nubes toxicas de amoniaco para diferentes valores de velocidad y en los cuatro meses estudiados no llegan a ser igual a la distancia de cada uno de los consejos populares, en otras palabras, no alcanza a ninguna de las zonas evaluadas y por tanto no las afecta, incluso la nube de amoniaco que se forma con mayor tamaño para las condiciones de calma no alcanza las dimensiones como para afectar a ninguno de los consejos populares.

A pesar de existir una cantidad considerada de Amoniaco en la empresa, la sustancia se encuentra distribuida en cuatro tanques y aunque el tanque estudiado es el de mayor capacidad, su porciento almacenado no llega en caso de escape un gran peligro para los habitantes de las diferentes zonas.

3.5.2-Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica, para el Disulfuro de Carbono.

Tabla 3.3-Afectaciones obtenidas por *Probit* para el escenario nube tóxica, de Disulfuro de Carbono.

Consejo Popular afectado	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% de afectados
Rpto Dubroc	20.9	4.68	38

Fuente: Elaboración propia

Las nubes toxicas de Disulfuro de Carbono que se pueden originar a partir de un escape accidental en Rayonitro, según los resultados obtenidos, no alcanzaran a los consejos populares de la ciudad de Matanzas, con excepción de la zona del Reparto Dubroc, que si llega a ser afectada ligeramente por un área de

concentración correspondiente AEGL-1, de manera tal que sus pobladores notarán afectaciones moderadas en su salud, al presentar trastornos respiratorios.

Resulta también importante conocer el nivel de riesgo para las personas que pueden encontrarse en el interior de locales que sean relativamente cercanos a la fuente de emisión, por esa razón se investigaron las concentraciones que podían aparecer, ante este tipo de accidente, en los diferentes locales.

Tabla 3.4: Afectaciones obtenidas por *Probit* para el escenario nube tóxica, para el Disulfuro de Carbono.

Local	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% afectados según Probit	Concent (ppm)	
				Inter/color	Exter/color
Planta de Ácido Sulfúrico	2650	14.6	100	190/n	800/r
Laboratorio y taller	650	11.72	100	1000/r	4500/r
Oficinas y garita	637	11.68	100	250/n	1300/r
Oficinas centrales de farmacuba	292	10.08	100	60/a	200/n
Almacenes de farmacuba	185	9.15	100	38/a	140/n

Casas	173	9.02	100	20/a	115/a
Aula de capacitación	107	8.03	99.9	4/a	10/a
Entrada principal	166	8.93	99.9	25/a	110/n

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Leyenda.

a: amarilla

n: naranja

r: roja

Obviamente todos los locales seleccionados en este estudio se verían afectados, ya que los valores de *Probit* indican que el cien por ciento de las personas presentes en estos lugares en el momento del accidente será dañado de alguna manera.

De los locales interiores solamente el Laboratorio y el Taller se verán afectados por concentraciones correspondientes a la zona roja, avisando que en estos locales el riesgo de perder la vida es elevado; la Planta de Ácido Sulfúrico así como la Garita de Entrada a esta área se ve afectada por una concentración correspondiente a la zona naranja, de esta forma se sabe que el personal sufrirá daños irreversibles para su salud y sus capacidades de auto-auxiliarse se verán disminuidas en el momento del accidente; el resto de los locales serán afectados por concentraciones correspondiente a la zona amarilla y su personal sufrirá efectos moderados.

La Planta de Ácido Sulfúrico, el Laboratorio, el Taller y la Garita se encuentran en sus exteriores en condiciones de máximo riesgo, mientras que las Oficinas y Almacenes de FARMACUBA y la Entrada Principal estarán presentando daños

irreversibles para la salud, finalmente en el resto de los locales se sufrirán efectos moderados.

Para algunos de estos locales se presenta la situación de que estando el personal dentro de ellos en condiciones de no poder auto-auxiliarse, estos verán agravada su situación si logran salir al exterior, donde la concentración llega a ser tal que se considera un alto riesgo para la vida humana. Un último detalle interesante es que el personal que se encuentra en el exterior solo podrá auxiliar al que se encuentra en el interior si llevan equipos de protección. Esto último ocurrirá en la Planta de Ácido Sulfúrico y en la Garita

Conclusiones.

1. Se determinan las áreas que son afectadas ante posibles accidentes por escapes de amoniaco y Disulfuro de Carbono en la zona industrial de Matanzas y su entorno.
2. Un escape de Disulfuro de Carbono, por accidente químico en la Empresa Rayonitro afectaría solamente el consejo popular del Reparto Dubroc, mientras que un escape de Amoniaco en el Frigorífico El Cítrico no afectaría a los consejos populares.
3. La afectación a la población del reparto Dubroc a un nivel dos de riesgo por lo que sus habitantes pueden padecer de daños irreversibles para la salud como neumonía química, problemas neurológicos, afectaciones visuales y otros.
4. En el caso de un escape de Disulfuro de Carbono los locales de la empresa Rayonitro se verán afectados muy seriamente la planta de ácido sulfúrico, el laboratorio, el taller y la garita de entrada a esta zona y en menor medida el resto de los locales.
5. En el caso de un escape de amoniaco ninguno de los locales que se encuentran alrededor de la empresa se verán afectados ya que la cantidad de amoniaco almacenada en dicho tanque no ofrece posibilidades de formación de una nube de gran envergadura.

Recomendaciones.

1. Tener en cuenta los resultados para mejorar el plan de protección y evacuación del Reparto Dubroc ante un escape de Disulfuro de Carbono.
2. Considerar en el plan de prevención y de evacuación los resultados que se ofrecen para un escape de Disulfuro de Carbono y su repercusión en los locales, del entorno cercano a la Rayonitro.

Bibliografía.

Adolfo, N. (2010). Los accidentes de trabajo. *Red Proteger*, 1ª edición.

Recuperado de <http://www.redproteger.com.ar>

Adolfo, N. (2012). Listing of the big world accidents. RED PROTEGER.

Recuperado de <http://www.redproteger.com.ar/>

America. (2013). Explosión en una planta de GLP dejó 8 heridos en Estados Unidos. Recuperado de <http://www.americatv.com>

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

Bernabé, L. (2014). Guía Práctica sobre Riesgos Químicos. México: CENAPRED.

Recuperado de <http://www.cenapred.gob.mx>

Cabezas, O. (25 de abril del 2014). Cuatro fallecidos por accidente de fuga de gas amoníaco en Puerto de Manta. Diario hoy.

Carbonell, A. & Torres, A. (2010). Occupational risk perception evaluation. *Revista Ingeniería Mecánica*, 13 (3), 18-25.

Carmenate, Y. (2018). *Evaluación de atmósferas peligrosas en el área de la terminal-320 de la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas* (Tesis de pregrado). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

Carreras, S. (mayo del 2019). Gas amoníaco: peligro y consecuencias de un mal uso. TANDEM HSE. Recuperado de <http://www.demsl.com/seguridad/>

Caritas Chile. (2015). *Sustancias Peligrosas – Clasificación General*. Recuperado de <http://www.caritaschile.org/>

Ceballos, C. (2003). Preparación para la defensa. Sustancias tóxicas. Su protección. La Habana: Editorial Félix Varela.

CEUPE.(2020). *Pollutants of dispersion* [BLOGCEUPE].Recuperado de <http://www.ceupe.com/>

Díaz, A. (2013). *Análisis de riesgos en el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas (ECCM)* (Tesis de pregrado inédita). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

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.

Fabrega, J. (2009). Analysis of risk in industrial facilities. Technology & Engineering.

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

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (1996). Environmental impact assessment and environmental auditing in the pulp and paper industry. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/005/v9933e/v9933e00.HTM>

Gámez, J. & Padilla, A. (2012). Análisis de incidentes químicos ocurridos en piscinas de España, 2008-2012. *Revista de Toxicología*, 29 (2), 123–128.

Gardey, A. & Pérez, J. (2012). Definición DE [versión electrónica]. Madrid: Enciclopedia libre. Recuperado de <http://definicion.de/accidente/>

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

Gutierrez, M., Mercado, C., & Torrealba, B. (junio del 2014). Massive ammonia intoxication. Report of two cases. *Revista chilena de enfermedades respiratorias*, 30 (2). Recuperado de <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-73482014000200000>

Hernández, M. (2017). *Determinación y Evaluación de Riesgos en la Planta de Procesamiento de Crudo de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro* (Tesis de pregrado inédita). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

IISD. (2014). *Methods for assessing impacts*. Recuperado de <http://www.iisd.org/learning/eia/es>

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

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

Jiménez, R. & Mira, G. (2017). Herramientas para la gestión del riesgo químico. Métodos de evaluación cualitativa y modelos de estimación de la exposición. Barcelona: INSHT.

López, I. (2010). *Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos* (Tesis de pregrado inédita). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

Luis, J.D. (2018). Guía para la caracterización de las sustancias. Disponible en: Departamento de Química. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas sede Camilo Cienfuegos.

Llamagas.(2014). Material safety data sheet.GLP. HDSM_O181-A.

Maggio, A. (2009). *Clasificación de los Materiales Peligrosos*. [18 Compañía de bomberos, Vitacura abril]. Vitacura: CBS.

Manzur, M., Benzal, G. y Gonzalez, S. (2012). *Atmospheric pollutants dispersion model*. [Actas 7mo Congreso del Medio Ambiente AUGM - Universidad Nacional de Tucumán - UNLP 2012, Tucumán 22-24 de mayo]. Tucumán: Editorial Universitaria.

Martín, J. (2018). *Historical Analysis Of Dispersion Of Toxic Flights: Evaluation Of Methodologies For The Determination Of The Areas Of It Alerts And Intervention* (thesis of master). Polytechnic University of Cataluña, Cataluña, España.

Martínez, N. (2019). *Análisis de los riesgos y la seguridad industrial en la UEB SuchelJovel*(Proyecto de curso inédito). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

Mckee, R., Herron, D., Spertein, M., Podhasky, P., Hffman, G., & Roberts, L. (2014). The toxicological properties of petroleum gases. *SAGE*, 33 (1), 285-515.

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.

Molina, V. (2011). *Minimización del riesgo ambiental en la industria de Galvanoplastia* (Tesis de grado). Instituto Politécnico Nacional Secretaría de Investigación y Posgrado, CDMX, México.

MONICA HERMOSA. (2016). *Programa de Gestión de Riesgo Químico*.

Recuperado de

<http://PROGRAMA%20DE%20GESTION%20DE%20RIESGO%20QUIMICO>

Morales, R. (2015) .Clasificación e Identificación de Riesgos Químicos. Oficina de Gestión de Riesgos y Preparativos para Emergencias y Desastres. Ministerio de Salud.

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

Naranjo, L. (2019). *Determinación de las áreas de atmósferas peligrosas y su influencia en la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas y su entorno* (Tesis de pregrado). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

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.

Piedra, G. y Valdivieso, T. (2013). *Evaluación del riesgo de incendio y explosión en una línea de extrusión de polietileno expandido* (Tesis de pregrado inédita). Universidad Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

PROFERTIL. (2000). Material safety data sheet. Ammonia. Versión: 001. Bahía Blanca, Argentina.

Ramos, O. y González, S. (2014). Diagnóstico de peligro e identificación de riesgos de desastres en México. CENAPRED.

Renjith V.R. (2010). *Concecuence modelling, vulnerability assessment and fuzzy fault tree analysis of hazardous storages* (Thesis of doctor). Division of safety and fire engineering School of Engineering Cochin university of Science and Technology, KERALA, INDIA.

REPSOL. (2016). Ficha de seguridad. Gas licuado del petróleo. Versión: 3.1. Lima, Perú.

Roche, L. (2019). *Determinación de las áreas de atmosferas peligrosas y su influencia en la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas* (Tesis de pregrado). Universidad de Matanzas, Matanzas, Cuba.

ROTH. (2019). Material safety data sheet. Ammonia. Versión: GHS 3.0 es. Schoemperlenstr, Alemania.

Sagardia, E. (2015). *Gestión del Riesgo Químico en la Empresa. Prevencilan*, pp.2

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

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

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

SuperEgo. (2012). Ficha de dato de seguridad. Gas licuado del petróleo. Versión: 1. Vizcaya, España.

Suarez, E. (18 de abril del 2013). Explosión of West Fertilizer Company. EL MUNDO. Recuperado de <http://www.elmundo.es>america>2013/04/19>estadosunidos>.

TDI. (2006). Accidents Investigation. Recuperado de <http://www.tdi.state.tx.us>

Torres, A. (2007-2008). *Aplicación Práctica Del Modelo De Dispersión De Contaminantes Atmosféricos – ISCST3* (Tesis de maestría inédita). Escuela de Negocios, Madrid, España.

UNECE. (2015). *Clasificación*. Recuperado de http://Tesis/clasificacion%20de%20riesgo/02_Part2.pdf

UPNA. (2000). *Manual de uso de Productos Químicos*.

Villalibre, C. (2013). *Concepto de Urgencias, Emergencias, Catástrofe y Desastre: Revisión Histórica Y Bibliográfica* (Tesis de maestría inédita). Universidad de Oviedo, Oviedo, España.

WMS. (2011). *Chemical products: Classification and Labeled Nueva York*. [Cuarta edición revisada]. New York: Ediciones WMS.

Anexos.

Anexo 1: 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.
- ✓ 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: 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/cm².
- ✓ 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.

Anexo 2: 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/R54/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

	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: 100 ton cada bala.
- ✓ Forma del recipiente: cilíndrico, horizontal.
- ✓ Dimensiones del recipiente: 3 m de diámetro, 30 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 amoniacales 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.

Anexo 3: 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

Anexo 3 Continuación.

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

Anexo 3 Continuación

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	Evítase el contacto con la piel
S25	Evítase 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	Quítase 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

Anexo 3 Continuación.

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	Evítense 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

Anexo 4: Equivalencia entre valores *Probit* y porcentaje de la población afectada.

Pr	%	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	5,96	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).

Anexo 4a: Constantes de toxicidad letal para la ecuación *Probit*.

SUSTANCIA	a (ppm)	b (ppm)	n (min)
ACRILONITRILO	- 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	0,02	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

Fuente: Domínguez (2014).

Anexo 5: Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio.

Tabla 5a. 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

Fuente: Moya (2010).

Tabla 5b: 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

Fuente: Moya (2010).

Tabla 5c: 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

Fuente: Moya (2010).

Tabla 5d: 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

Fuente: Moya (2010).

Tabla 5e: 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

Fuente: Moya (2010).

Tabla 5f: Comportamiento de los valores medio de la velocidad y frecuencia de ocurrencia de los vientos para la zona estudiada.

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

Fuente: Moya (2010).

Anexo 6: Accidentes histórico de accidentes.

Anexo 6a: Accidentes que involucran al Amoníaco.

Fecha	País	Origen	# de		
			Muerto	Lesión	Evacuación
1968	Lieven, Francia	Explosión	5		
1969	Crete, EUA	Explosión	8		

1975	Houston, EUA	Fuga	6	178	
1976	Deer Park, EUA	Fuga	5	200	
	Cartagena, Col	Explosión	30	30	
	Cuernavaca, Mex	fuga	2	500	2000
	Houston, EUA	Explosión	6		
1978	Manfredonia, Ital	Fuga			10000
1984	Matamoros, Mex	Transporte		182	3000
1985	Jakarta, Indon	Fuga		130	
1987	Bhopal, India	Fuga			200000
1989	Bhatinda, India	Fuga		500	
	Ionava, URSS	Explosión	6	53	30000
1990	Matanzas, Cuba	Fuga	3	374	>1000
	Lucknow, India	Fuga		200	
1991	Dhaka, Bang	Explosión	8	22	
	N. Bombay, India	Fuga	1	150	
1992	Dakar, Senegal	Fuga	>40	>300	
	Westlake, EUA	Explosión		63	
1993	Oklahoma, EUA	Explosión	168		
1995	Maharashta, India	Fuga		2000	
1997	Bhopal, India	fuga		400	
1999	Madrid, España	fuga			20
2001	Caseros, Argentina	Fuga	1	4	>20
	Toulouse, Francia	Explosión	19	658	50
2002	Linderos, Chile	Fuga			20
	Dakota, EUA	Fuga	1	>60	
2004	Valencia, España	Fuga			1000
2005	Nanchital, Mexico	Fuga	4	100	6000
2006	Bhopal, India	Fuga			200
2007	Ciudad Vieja, Uruguay	Fuga	4		16

2008	Marta, Ecuador	Fuga	8		
2009	Chifeng, China	Fuga		202	
2010	El Prat Llobregat	Fuga		2	
	Alabama, UEA	Fuga		153	32
2011	Madrid, España	Fuga	1		38
2012	Marta, Ecuador	Fuga	3		6
	CDMX, Mexico	Explosión	>40	50	
2013	Texas, EUA	Explosión	14		160
	Oaxaca, Mexico	Fuga	9	40	1200
	Changai, China	Fuga	15	160	26
	Texas, EUA	Explosión	15	>160	40
2014	Marta, Ecuador	Fuga	4	38	
2015	Jaramillo, Ecuador	Fuga		15	4
2016	Ondarroa, España	Explosión	2		180
2017	Granada, España	Fuga		12	4
2019	Tarragona, España	Fuga	1	15	
	Michoacán, Mex	Incendio	5		>39

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 6b: Accidentes que involucran al Disulfuro de Carbono.

Fecha	País	Origen	# de		
			Muerte	Lesión	Evacuación
1967	Guijuelo, España	Explosión	13	>300	>500
1994	Mallorca, España	Explosión		>100	>300

Fuente: Elaboración propia

Anexo 7: 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

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8: 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)
Versalles	19 829	E, ESE,SE y SSE	SSE
Matanzas	41 749	E, ENE	E
Pueblo Nuevo	28 298	NNE, ,NE y ENE	NE
Peñas Altas	24 328	WNW,NW y NNW	NNW
Playa	13 120	WNW,NW y NNW	NW

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 8a: 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)
Versalles	19 829	E, NE,NNE	SE
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

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9: Resultados del software ALOHA. Tanque de mayor capacidad.

Anexo 9a: Dimensiones de la nube tóxica de Amoníaco.

Temperatura(°C)		20.6	Enero			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		78				
Consejo popular	Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia media de la fuente de emisión al área (m).
Playa	NW	3.47	AEGL-3(1100)	14	-	2760
			AEGL-2(160)	39	-	
			AEGL-1(30)	91	12.06	
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	AEGL-3(1100)	13	-	3900
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	82	10.8	
Versalles	SSE	3.03	AEGL-3(1100)	16	-	1320
			AEGL-2(160)	41	-	
			AEGL-1(30)	97	12.06	
Reparto Dubroc	SE	3.53	AEGL-3(1100)	90	11.40	470
			AEGL-2(160)	38	-	
			AEGL-1(30)	14	-	
Matanzas este	E	4.28	AEGL-3(1100)	13	-	2410
			AEGL-2(160)	34	-	
			AEGL-1(30)	81	10.16	
Matanzas oeste	ENE	4.69	AEGL-3(1100)	13	-	3080
			AEGL-2(160)	33	-	
			AEGL-1(30)	77	9.88	
Peñas Altas	NNW	3.72	AEGL-3(1100)	14	-	3900
			AEGL-2(160)	37	-	
			AEGL-1(30)	88	11.42	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9a: Continuación.

Temperatura(°C)		24.2	Abril			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		73				
Consejo popular	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).
Playa	NW	3.47	AEGL-3(1100)	14	-	2760
			AEGL-2(160)	39	-	
			AEGL-1(30)	91	12.06	
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	AEGL-3(1100)	13	-	3900
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	83	10.83	
Versalles	SSE	3.03	AEGL-3(1100)	16	-	1320
			AEGL-2(160)	41	-	
			AEGL-1(30)	98	12.10	
Reparto Dubroc	SE	3.53	AEGL-3(1100)	90	11.40	470
			AEGL-2(160)	38	-	
			AEGL-1(30)	14	-	
Matanzas este	E	4.28	AEGL-3(1100)	13	-	2410
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	81	10.16	
Matanzas oeste	ENE	4.69	AEGL-3(1100)	13	-	3080
			AEGL-2(160)	33	-	
			AEGL-1(30)	78	9.90	
Peñas Altas	NNW	3.72	AEGL-3(1100)	14	-	3900
			AEGL-2(160)	38	-	
			AEGL-1(30)	88	11.42	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9a: Continuación.

Temperatura(°C)		26.3	Julio			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		82				
Consejo popular	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).
Playa	NW	3.47	AEGL-3(1100)	15	-	2760
			AEGL-2(160)	39	-	
			AEGL-1(30)	91	12.06	
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	AEGL-3(1100)	13	-	3900
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	83	10.83	
Versalles	SSE	3.03	AEGL-3(1100)	16	-	1320
			AEGL-2(160)	42	-	
			AEGL-1(30)	98	12.10	
Reparto Dubroc	SE	3.53	AEGL-3(1100)	91	11.40	470
			AEGL-2(160)	39	-	
			AEGL-1(30)	14	-	
Matanzas este	E	4.28	AEGL-3(1100)	13	-	2410
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	82	10.20	
Matanzas oeste	ENE	4.69	AEGL-3(1100)	13	-	3080
			AEGL-2(160)	33	-	
			AEGL-1(30)	78	9.90	
Peñas Altas	NNW	3.72	AEGL-3(1100)	14	-	3900
			AEGL-2(160)	38	-	
			AEGL-1(30)	88	11.42	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9a: Continuación.

Temperatura(°C)		24.6	Octubre			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
Consejo popular	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).
Playa	NW	3.47	AEGL-3(1100)	11	-	2760
			AEGL-2(160)	28	-	
			AEGL-1(30)	66	11.42	
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	AEGL-3(1100)	13	-	3900
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	83	9.52	
Versalles	SSE	3.03	AEGL-3(1100)	16	-	1320
			AEGL-2(160)	41	-	
			AEGL-1(30)	98	13.14	
Reparto Dubroc	SE	3.53	AEGL-3(1100)	91	12.06	470
			AEGL-2(160)	38	-	
			AEGL-1(30)	14	-	
Matanzas este	E	4.28	AEGL-3(1100)	13	-	2410
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	82	10.16	
Matanzas oeste	ENE	4.69	AEGL-3(1100)	13	-	3080
			AEGL-2(160)	33	-	
			AEGL-1(30)	78	10.38	
Peñas Altas	NNW	3.72	AEGL-3(1100)	14	-	3900
			AEGL-2(160)	38	-	
			AEGL-1(30)	88	11.42	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9b: Dimensiones de la nube tóxica de Disulfuro de Carbono.

Temperatura(°C)		20.6	Enero			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		78				
Consejo popular	Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia media de la fuente de emisión al área (m).
Playa	NNW	3.72	AEGL-3(480)	166	26	3670
			AEGL-2(160)	340	52	
			AEGL-1(13)	1500	142	
Pueblo Nuevo.	NNE	4.08	AEGL-3(480)	161	14	3840
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	159	25	1930
			AEGL-2(160)	329	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles este	NE	4.17	AEGL-3(480)	159	25	1400
			AEGL-2(160)	329	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Reparto Dubroc	NNE	4.08	AEGL-3(480)	161	14	1010
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas este	NE	4.17	AEGL-3(480)	159	25	3170
			AEGL-2(160)	329	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	159	25	3720
			AEGL-2(160)	329	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Peñas Altas	NW	3.47	AEGL-3(480)	170	48	4450
			AEGL-2(160)	347	80	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9b: Continuación

Temperatura(°C)		24.2	Abril			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		73				
Consejo popular	Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia media de la fuente de emisión al área (m).
Playa	NNW	3.72	AEGL-3(480)	169	29.2	3670
			AEGL-2(160)	344	54.4	
			AEGL-1(13)	1500	142	
Pueblo Nuevo.	NNE	4.08	AEGL-3(480)	164	15.3	3840
			AEGL-2(160)	336	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles	NE	4.17	AEGL-3(480)	161	26	1930
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Reparto Dubroc	NNE	4.08	AEGL-3(480)	164	15.3	1010
			AEGL-2(160)	336	52	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas este	NE	4.17	AEGL-3(480)	161	26	3170
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Matanzas oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	161	26	3720
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Peñas Altas	NW	3.47	AEGL-3(480)	173	50	4450
			AEGL-2(160)	351	82.5	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia

Anexo 9b: Continuación.

Temperatura(°C)		26.3	Julio			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		82				
Consejo popular	Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia media de la fuente de emisión al área (m).
Playa	NNW	3.72	AEGL-3(480)	169	29.2	3670
			AEGL-2(160)	342	53.7	
			AEGL-1(13)	1500	142	
Pueblo Nuevo.	NNE	4.08	AEGL-3(480)	164	15.3	3840
			AEGL-2(160)	334	51	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles	NE	4.17	AEGL-3(480)	163	26.2	1930
			AEGL-2(160)	333	52	
			AEGL-1(13)	1400	168	
Reparto Dubroc	NNE	4.08	AEGL-3(480)	164	15.3	1010
			AEGL-2(160)	334	51	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas este	NE	4.17	AEGL-3(480)	163	26.2	3170
			AEGL-2(160)	333	52	
			AEGL-1(13)	1400	168	
Matanzas oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	163	26.2	3720
			AEGL-2(160)	333	52	
			AEGL-1(13)	1400	168	
Peñas Altas	NW	3.47	AEGL-3(480)	173	50	4450
			AEGL-2(160)	350	82.1	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 9b: Continuación

Temperatura(°C)		24.6	Octubre			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
Consejo popular	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).
Playa	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	28.83	3670
			AEGL-2(160)	341	53.2	
			AEGL-1(13)	1500	142	
Pueblo Nuevo.	NNE	4.08	AEGL-3(480)	163	15	3840
			AEGL-2(160)	333	50.1	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Versalles	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	1930
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Reparto Dubroc	NNE	calma	AEGL-3(480)	287	156	1010
			AEGL-2(160)	528	200	
			AEGL-1(13)	2300	460	
	NNE	4.08	AEGL-3(480)	163	15	
			AEGL-2(160)	333	50.1	
			AEGL-1(13)	1400	116	
Matanzas este	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	3170
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Matanzas oeste	NE	4.17	AEGL-3(480)	162	24	3720
			AEGL-2(160)	332	52	
			AEGL-1(13)	1400	142	
Peñas A.	NW	3.47	AEGL-3(480)	172	49.7	4450
			AEGL-2(160)	348	80.8	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10: Resultados del *software* ALOHA. Tanque de mayor capacidad.

Anexo 10a: Entorno cercano al Frigorífico.

Temperatura(°C)		24.6	Octubre			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
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).
Oficina de la planta	E	4.28	AEGL-3(1100)	13	-	96
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	82	5.08	
Planta de conserva	N	3.47	AEGL-3(1100)	14	-	46
			AEGL-2(160)	39	-	
			AEGL-1(30)	91	5.08	
Planta de GLP y oficinas	SW	2.42	AEGL-3(1100)	48	-	96
			AEGL-2(160)	128	-	
			AEGL-1(30)	304	5.08	
Embace y despacho de balas de GLP	NW	3.47	AEGL-3(1100)	14	-	69
			AEGL-2(160)	39	-	
			AEGL-1(30)	91	5.08	
Pto de venta del frigorífico	E	4.28	AEGL-3(1100)	13	-	67
			AEGL-2(160)	35	-	
			AEGL-1(30)	82	5.08	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 10b: Entorno cercano a la Rayonitro.

Temperatura(°C)		24.6	Octubre			
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
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).
Planta de Acido Sulfúrico	SW	2.42	AEGL-3(480)	228	26	110
			AEGL-2(160)	448	104	
			AEGL-1(13)	2300	240	
Laboratorio y taller	S	2.94	AEGL-3(480)	213	26	23
			AEGL-2(160)	424	78	
			AEGL-1(13)	2200	240	
Oficinas y garita	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	26	65
			AEGL-2(160)	341	48	
			AEGL-1(13)	1500	158	
Oficinas centrales de Farmacuba	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	26	226
			AEGL-2(160)	341	48	
			AEGL-1(13)	1500	158	
Almacenes de Farmacuba	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	26	290
			AEGL-2(160)	341	48	
			AEGL-1(13)	1500	158	
Casas	N	3.47	AEGL-3(480)	172	15.8	333
			AEGL-2(160)	348	48	
			AEGL-1(13)	1500	158	
Aula de capacitació	N	3.47	AEGL-3(480)	172	15.8	427
			AEGL-2(160)	348	48	
			AEGL-1(13)	1500	158	
Entrada principal	NNW	3.72	AEGL-3(480)	168	26	315
			AEGL-2(160)	341	48	
			AEGL-1(13)	1500	158	

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 11: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica, para el Disulfuro de carbono.

Consejo Popular afectado	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% afectados
Rpto Dubroc	20.9	4.68	38

Fuente: Elaboración propia.

Anexo12: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica en los locales cercanos al Frigorífico.

Local	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% afectados
Oficina de la planta	0	0	0
Planta de conserva	133	-10.23	0
Planta de GLP y oficinas	0	0	0
Embace y despacho de balas de GLP	49.1	-13.91	0
Pto de venta del frigorífico	42.6	-14.45	0

Fuente: Elaboración propia.

Anexo 13: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario nube tóxica en los locales cercanos a Rayonitro.

Local	Concentración (ppm)	Valor de Probit	% afectados
Planta de Acido Sulfúrico	2650	14.6	100
Laboratorio y taller	650	11.72	100
Oficinas y garita	637	11.68	100
Oficinas centrales de Farmacuba	292	10.08	100
Almacenes de Farmacuba	185	9.15	100
Casas	173	9.02	100
Aula de capacitación	107	8.03	99.9
Entrada principal	166	8.93	99.9

Fuente: Elaboración propia.

