

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



TRABAJO DE DIPLOMA

Tesis presentada en opción al título de ingeniero químico.

**TÍTULO: DETERMINACIÓN DE LAS ÁREAS DE ATMÓSFERAS
PELIGROSAS Y SU INFLUENCIA EN LA UEB DIVISIÓN
TERRITORIAL DE COMERCIALIZACIÓN DE COMBUSTIBLES
MATANZAS.**

Autor: Liuben Felipe Roche Martínez.

Tutores: Ing. Santiago Díaz Suárez, MSc.

Ing. Yanay Carmenate Martínez

Matanzas, Cuba, 2019

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Liuben Felipe Roche Martínez, declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas y de la Universidad de Matanzas Sede “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Liuben Felipe Roche Martínez

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma

Miembro del tribunal

Firma

*“El futuro pertenece a quienes creen en la belleza
de sus sueños.”*

Eleanor Roosevelt

Dedicatoria.

*A mis padres y a todos
los que han creído en mí.*

Agradecimientos.

Especialmente a mis padres, por ser mi inspiración y estar siempre a mi lado, por su sacrificio y su amor incondicional aun cuando a veces no me lo mereciera, por ayudarme a superar cualquier obstáculo que se presentase.

A Claudia por haberme soportado estos últimos cinco años y por el simple hecho de permitirme conocerla.

A todos mis amigos de la vocacional Rayner, Portilla, Uza, Michel, Julio, Diego, Humberto y los demás por todos los momentos compartidos.

A todos mis compañeros de aula por los buenos y malos momentos durante los últimos cinco años: Juset, Dainelis, Sisi, Adrián, Harry, Merlyn, Lisandra, Eidys y el resto.

A los que hace cinco años empezaron este camino y por una u otra razón hoy no lo terminan: Yosiel, Álvaro y los demás.

A Lisbett por toda la ayuda y la hospitalidad durante los últimos seis meses.

A mi tutor Santiago por su confianza y dedicación, por todos los conocimientos y sabiduría compartida no solo en la realización de este trabajo, sino también en el plano personal y a su esposa Vilma por su hospitalidad.

A mi tutora Yanay por toda la ayuda brindada en la confección de este trabajo.

A todos los profesores de la carrera que no solo nos han formado como buenos profesionales sino como buenas personas.

A los trabajadores de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas, por su ayuda en la recolección de datos para este trabajo y durante las prácticas laborales, en especial a Lili por toda la ayuda brindada y siempre tener tiempo para atendernos.

En fin a todos los que de una forma u otra brindándome su ayuda y su confianza me han permitido llegar hasta aquí.

Muchas Gracias.

RESUMEN

Este trabajo de investigación se desarrolla en el área de la Terminal 320, perteneciente a la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas, ubicada en la zona industrial de dicha provincia. En él se determinan, a través del *software* ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*), las áreas afectadas en la planta y en el entorno de la misma, ante la ocurrencia de accidentes en los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación (B-100) y turbocombustible (Jet A-1), obteniéndose que las mayores áreas de riesgo, son las generadas por la formación de un BLEVE más bola de fuego. Mediante las ecuaciones *Probit*, se determinan las afectaciones humanas por los efectos de la sobrepresión y la radiación en la zona de estudio y se determina que el escenario de riesgo que mayor impacto tiene sobre los trabajadores de la planta y la población, es el BLEVE. Se establece que las afectaciones económicas por concepto de reposición de equipos pueden ascender hasta los \$ 795 708 en el caso de la explosión de una nube de vapor de gasolina de aviación y de \$ 40 707 804 por un BLEVE de turbocombustible.

SUMMARY

This investigation work is developed in the area of the Terminal-320, belonging to the UEB Territorial Division of Commercialization of Fuels of Matanzas, located in the industrial area of this county. In him they are determined, through the software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), the areas affected in the plant and in the environment of the same one, before the occurrence of accidents in the tanks of storage of aviation gasoline (B-100) and the upset-fuel (Jet A-1), being obtained that the biggest areas of risk, they are those generated by the formation of a BLEVE more fire ball. By means of the equations Probit, the human affectations are determined by the effects of the under discharges pressures and the radiation in the study area and it is determined that the scenario of risk that bigger impact has on the workers of the plant and the population, is the BLEVE. It was settles down that the economic affectations for concept of reinstatement of teams can ascend until those \$ 795 708 in the case of the explosion of a cloud of vapor of aviation gasoline and of \$ 40 707 804 for a BLEVE of upset-fuel.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.	3
1.1 Definiciones y conceptos generales.....	3
1.2 Riesgo químico.	5
1.3 Accidentes mayores. Principales escenarios de riesgos.	5
1.3.1 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico.	6
1.3.2 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico...	13
1.3.3 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo químico.	18
1.4 <i>Software</i> de evaluación de áreas de atmósferas peligrosas.....	19
1.5 Método para la determinación de afectaciones humanas.....	24
1.6. Conclusiones Parciales.....	25
Capítulo 2: Materiales y métodos.	26
2.1 Caracterización de la Empresa.	26
2.2 Procedimiento de identificación de la sustancia involucrada en el proceso.	28
2.3 Características y particularidades del <i>software</i> ALOHA.....	30
2.4 Método “ <i>Probit</i> ”.	37
2.5 Análisis del Impacto Económico.	40
Capítulo 3: Análisis de los resultados.....	41
3.1 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el <i>software</i>	41
3.2 Resultados de la aplicación del <i>software</i> ALOHA.	43
3.2.1 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por la nube tóxica.....	43
3.2.2 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas originadas por la explosión de una nube de vapor.	48

3.2.3 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por el BLEVE.....	50
3.3 Análisis de resultados alcanzados por “ <i>Probit</i> ”.....	53
3.3.1 Análisis de vulnerabilidad a explosiones.....	53
3.3.2 Análisis de vulnerabilidad por efectos de radiación térmica.....	54
3.4 Análisis del Impacto Económico.....	58
3.5 Conclusiones parciales.....	60
Conclusiones.....	61
Recomendaciones.....	62
Bibliografía	63
Anexos	70

Introducción

El desarrollo acelerado de la sociedad actual junto con el aumento de la población mundial trae consigo un aumento considerable del consumo de productos industriales y por ende de la demanda de energía. Dentro de este desarrollo las industrias químicas, petroleras y petroquímicas juegan un papel fundamental debido a la amplia variedad de bienes aportados por las mismas y al hecho de que en la actualidad la mayor parte de la energía producida proviene de los combustibles fósiles. Producto de este desarrollo se ha incrementado considerablemente el número de instalaciones industriales, el tamaño de las mismas y por consiguiente la cantidad de productos químicos procesados, producidos, transportados y almacenados en las mismas. Esta situación ha provocado un incremento de los accidentes tecnológicos en este tipo de empresas con un fuerte impacto sobre las personas, los bienes y el medio ambiente.

Después de accidentes como los de Flixborough, (1974), Seveso, (1976), Bopal, (1984) y otros más las preocupaciones por la seguridad en las instalaciones industriales han experimentado un crecimiento espectacular por lo que la prevención y el control de riesgos son aspectos prioritarios tanto a nivel internacional como nacional. Tal es el caso de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas, creada el 13 de diciembre de 1976, que se encuentra enclavada en el Km 4½ en la Zona Industrial del municipio de Matanzas, la cual se encarga de la distribución y comercialización del petróleo crudo y sus derivados; contando para ello con muelles y oleoductos, capaces estos últimos de trasladar el combustible a los consumidores que así lo requieran.

En esta empresa se realiza una investigación desde hace más de una década que ha determinado los diferentes escenarios de accidentes químicos que pueden ocurrir con las disímiles sustancias almacenadas en la empresa. Sus resultados son valiosos para la confección de los planes de protección y emergencia no solo de la empresa sino de otros organismos como la Defensa Civil. Los proyectos realizados siguen diferentes criterios de investigación con el objetivo de ofrecer un

resultado que responda a las mayores probabilidades de ocurrencia en función de las características propias del área objeto de estudio y de las sustancias almacenadas. Un criterio diferente se pretende aplicar en esta investigación, en busca de la valoración de la afectación socio y económica, atendiendo a las áreas más densamente pobladas y las áreas de la empresa con mayor presencia de empleados.

En correspondencia con lo anterior se presenta el siguiente **problema de la investigación:**

¿Cómo evaluar las afectaciones socioeconómicas de las áreas de atmósferas peligrosas que se pueden originar por accidentes químicos, en los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación y turbocombustible en la Terminal-320 de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas?

Para dar solución a este problema se plantea como **hipótesis** del trabajo:

Si se aplican las técnicas para determinar áreas de atmósferas peligrosas, para estas sustancias en las direcciones donde existe mayor población y donde laboran más cantidad de empleados de la empresa, se podrá evaluar la afectación social y económica.

Para dar cumplimiento a la hipótesis se propone el siguiente **objetivo general:**

Determinar las áreas de afectación que se originan ante accidentes químicos bajo las condiciones climatológicas del área objeto de estudio.

Objetivos Específicos:

- 1- Determinar el área de afectación para los escenarios de nube tóxica, nube explosiva y BLEVE.
- 2- Definir los niveles de riesgo vinculados a las áreas de los escenarios investigados.
- 3- Cuantificar las afectaciones de los escenarios investigados en las direcciones, donde laboren los empleados de la empresa y donde mayor población existe, para las sustancias objeto de estudio.

Capítulo 1: Análisis Bibliográfico.

En el presente capítulo se abordan diversas temáticas, relacionadas con el tema de investigación, indispensables para el proyecto en cuestión. Se enuncian términos y definiciones fundamentales relacionados con la identificación de los peligros tecnológicos y la evaluación de riesgos, en instalaciones en que se manipulan sustancias peligrosas y que exponen a la población, la economía y al medio ambiente, tanto dentro como fuera de los límites de la empresa. También se describen las principales técnicas utilizadas en la actualidad para la evaluación de riesgos en la industria química. Los documentos consultados incluyen todas las investigaciones realizadas hasta el momento en el área objeto de estudio, lo cual nos permite a su vez dirigir la investigación hacia algunos otros aspectos no contemplados hasta el momento y que pueden ser de interés para la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas y el entorno poblacional. Se destaca la evolución que ha tenido en esta investigación en relación con los estudios de las variables climatológicas dados por Moya, (2010).

1.1 Definiciones y conceptos generales.

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA/IPCS, 1999) el peligro es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de sustancias o procesos que involucran sustancias bajo ciertas condiciones de producción, uso o disposición causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición; en otras palabras, es una fuente de daño.

Autores como Casal *et al.*, (2002) definen al peligro como una situación física que puede provocar accidentes o daños a la vida, a los equipos o al medio ambiente.

El peligro, se define como la “característica física o química inherente al sistema, material, proceso, planta que tiene la capacidad de producir un daño a las personas, la instalación o el ambiente”. (Pastrana 2014).

El peligro es una fuente o situación de riesgo inminente con capacidad de daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o una combinación de ambos. (Castro y Acosta, 2014).

Según Casal *et al.*, (2002) y Rosero, (2015) un tratamiento riguroso del riesgo requiere una definición que permita su cuantificación. Por lo que lo definen como el producto de la frecuencia prevista para un determinado suceso por la magnitud de las consecuencias probables:

Riesgo = frecuencia · magnitud consecuencias

Riesgo es la probabilidad de ocurrencia de daño por determinado peligro, en dependencia del mismo y de la exposición. Alternativamente es la frecuencia esperada de la aparición de un evento dañino (dígase muerte, lesión o pérdidas) por la exposición a un agente químico o físico en condiciones específicas. (PNUMA/IPCS, 1999).

Por su parte Zambrano *et al.*, (2012) y Pastrana, (2014) definen riesgo como la medida de pérdida o daño hacia las personas, a la propiedad, a los bienes, y al entorno, expresada en función de la probabilidad de ocurrencia de un evento no deseado (frecuencia) y la magnitud de la pérdida o daño (consecuencias).

Es un evento casual, que resulta de la acción del hombre o de una causa externa, y que, a su vez, puede causar afectaciones de forma directa o indirecta a los bienes y personas en las que se presente. (Foyo, 2015).

Aunque muchas veces son considerados como si fueran lo mismo, el autor coincide con lo planteado por López, (2010) que la diferencia fundamental entre riesgo y peligro es la proximidad de ocurrencia, pues este último es aquello que puede producir un accidente o un daño y el primero estaría asociado a la probabilidad de que un peligro se convierta realmente en un accidente con unas consecuencias determinadas.

1.2 Riesgo químico.

En la actualidad en todos los procesos industriales y agrícolas, así como en las actividades domésticas, son usados innumerables productos químicos. Según la ACHS, (2010) son más de cien mil; mientras que Lugo, (2015) plantea que de los ocho millones de productos químicos registrados, aproximadamente noventa mil son empleados habitualmente en la industria y este número aumenta cada año.

Puede definirse riesgo químico como la posibilidad de daño a la salud, a las instalaciones y al medio ambiente, debido a la acción de las sustancias químicas que se manipulan. (Guerra *et al.*, 2009).

Los riesgos químicos son debido a factores intrínsecos de los propios productos en sus condiciones de empleo, transportación y almacenaje. Por tener determinadas propiedades físico-químicas o reactividad química, determinantes de su peligrosidad. Factores externos a los mismos como la inseguridad con que éstos se utilizan, ya sea por fallos de las instalaciones o equipos y de la organización. También por un comportamiento humano inadecuado, generado este último básicamente por un desconocimiento de la peligrosidad del producto o proceso químico en cuestión y una falta de formación para seguir procedimientos de trabajo seguros. (Lugo, 2015).

1.3 Accidentes mayores. Principales escenarios de riesgos.

Un accidente es un suceso incontrolado y fortuito capaz de producir daños. Si una situación generada puede ser calificada como de riesgo grave, catástrofe o calamidad pública (inmediata o diferida) para las personas, el medio ambiente y los bienes, se la denomina “accidente mayor”. (Casal *et al.*, 2002).

Por su parte Pastrana, (2014) define un accidente mayor como el evento no deseado que involucra a los procesos y equipos críticos con sustancias químicas peligrosas, que origina una liberación incontrolada de las mismas o de energía, y

que puede ocasionar lesiones, decesos y daños en el centro de trabajo, la población aledaña o el ambiente.

Según PNUMA, (1990), Khan y Abbasi, (1999), Casal *et al.*, (2002), Ferrero, (2006), Galán, (2012), Peng *et al.*, (2013) y Okoh y Haugen, (2013) los riesgos industriales graves están relacionados con efectos peligrosos de tipo térmico (incendios y radiación térmica), mecánico (explosiones, ondas de presión y proyección de fragmentos) y químicos (emisión a la atmósfera o vertido incontrolado de sustancias contaminantes tóxicas o muy tóxicas), y por lo general entrañan el escape de material de un recipiente seguido en caso de sustancias volátiles de su evaporación y dispersión.

En la industria química los accidentes de gran magnitud están relacionados generalmente con la pérdida de contención de un producto tóxico o inflamable. Si esto ocurre, la evolución de la situación dependerá de las condiciones meteorológicas, de la cantidad de sustancia liberada y la distancia de los objetivos vulnerables. (Hemmatian, 2016).

1.3.1 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico.

Incendios

El incendio representa una manifestación no deseada del fuego que se desarrolla sin control en el tiempo en un lugar imprevisto, provocando daños y pérdidas. Mientras el fuego puede ser definido como un fenómeno de reacciones químicas de oxidación reducción con un elevado potencial exotérmico. (Galán, 2012).

Según Casal *et al.*, (2002) y Ferrero, (2006) de los diferentes accidentes que pueden ocurrir en la industria, el incendio es el de menor radio de acción. Pero a pesar de eso sus efectos pueden ser temibles, pues la radiación térmica puede afectar a otras partes de la planta y generar nuevos accidentes (explosiones o escapes). Por otra parte, el humo puede, además, complicar notablemente la actuación de los equipos de intervención y someterlos a un peligro adicional (falta de visibilidad o intoxicación).

Para Aguilar *et al.*, (2010) los incendios originados por productos químicos pueden causar daños materiales importantes, lesiones corporales y, en algunos casos, la muerte de personas. Los daños materiales están relacionados con la temperatura alcanzada en el incendio, que depende del poder calorífico del combustible, mientras que los daños sobre personas pueden ser producidos por el calor o por la acción directa de las llamas, aunque el efecto más frecuente es la intoxicación o asfixia debida a la inhalación de gases tóxicos de la combustión, principalmente monóxido de carbono (CO), o a la falta de oxígeno.

Los incendios en la industria del petróleo pueden desarrollarse de diversas maneras que dependen de la naturaleza (propiedades físicas y químicas) y de la disposición del combustible, además del tipo de proceso que se desarrolla. (López, 2006).

En los depósitos de almacenamiento de combustible, los incendios son relativamente frecuentes. Al ser elevadas las cantidades almacenadas las consecuencias de estos suelen ser impredecibles. (Casal *et al.*, 2002 y Blengini *et al.*, 2017).

Incendio de un gas

Cuando se produce un escape de un gas o vapor inflamable para Casal *et al.*, (2002) se producen dos tipos de incendios, fundamentalmente el incendio de un chorro de gas, el incendio de una nube de gas o las llamaradas.

✓ Incendio de un chorro de gas o dardo de fuego (*jet fire*).

Para Casal *et al.*, (2002), Colmenero, (2011) y Piedra y Valdivieso, (2013) el suceso que origina este tipo de incendio es la fuga accidental de vapores o gases inflamables a presión, en áreas de proceso o depósitos de almacenaje.

Según Colmenero, (2011) el escape dará lugar a lo que se denomina chorro turbulento. Dicha turbulencia hará que la masa de gas inflamable se mezcle con el aire circundante desde el punto de fuga.

Esta fuga normalmente se encuentra en perforaciones en depósitos, bridas y uniones de tuberías. La zona afectada depende de la velocidad y del área de descarga del gas, orientación y dirección del chorro y condiciones meteorológicas predominantes en el momento del evento. Este tipo de incendio tiene un peligro relativamente bajo en sí mismo, pero si el dardo afecta a un equipo colindante, puede dar lugar a otros accidentes más graves. (López, 2006).

✓ Incendio de una nube de gas o llamarada (*flash fire*).

Según Casal *et al.*, (2002) la llamarada es una llama progresiva de difusión, de baja velocidad que no produce ondas de presión significativas. Se origina cuando se produce el vertido de un gas o un vapor inflamable, de manera que se forma una nube que se va dispersando hasta que encuentra una fuente de ignición. Cuando éstos encuentran un punto de ignición, el frente de la llama generado se propaga hasta el punto de emisión, barriendo y quemando toda la zona ocupada por los vapores en condiciones de inflamabilidad. Estas nubes pueden estar originadas también por el vertido de un líquido, que en condiciones atmosféricas experimente un *flash* o que se evapore rápidamente.

La llamarada corresponde a la ignición repentina de la nube de vapores en un sitio alejado del escape del fluido. Generalmente el fenómeno se modela considerando el criterio de que la nube entra en ignición a la distancia, en la dirección del viento predominante, donde se alcanza la concentración del límite inferior de explosividad. (López, 2006).

Incendio de un líquido

Cuando se produce un escape de un líquido inflamable se pueden generar diferentes tipos de incendio, según el tipo de escape y el lugar donde se produzca estos son: los charcos de fuego al aire libre, los charcos de fuego sobre el mar, los incendios en movimiento y las bolas de fuego.

✓ Charco de fuego al aire libre (*pool fire*).

Casal *et al.*, (2002) define este tipo de incendio como: “Combustión estacionaria con llama de difusión del líquido de un charco de dimensiones conocidas (extensión), que se produce en un recinto descubierto”.

Según Casal *et al.*, (2002), Colmenero, (2011) y Piedra y Valdivieso, (2013) los charcos de fuego al aire libre son originados por el escape o vertido de un líquido combustible sobre el suelo y en el exterior.

En caso de que se produzca la ignición del líquido derramado, el tipo de fuego resultante dependerá en gran medida de si el escape es continuo o instantáneo. Si el escape es instantáneo, el líquido se irá esparciendo hasta que encuentre una barrera o hasta que se haya consumido todo el combustible en el incendio. En caso de un escape continuo, el charco irá creciendo hasta que la velocidad de combustión iguale el caudal de vertido. De este modo se llega a un diámetro de equilibrio, que se mantiene mientras no se detiene la fuga. Si el líquido queda retenido dentro de algún recipiente o área protegida, como puede ser una cubeta, el incendio no dependerá tanto de si el escape es instantáneo o continuo. (Casal *et al.*, 2002).

✓ Charcos de fuego sobre el mar.

Este tipo de escenario, que se produce como consecuencia de fugas en buques o plataformas petrolíferas, es muy similar al *pool fire*, por lo que se refiere a las características del incendio. Sin embargo, las pérdidas de calor por convección hacia el agua pueden bajar la temperatura del combustible y reducir la evaporación (y consecuentemente la velocidad de combustión) tanto que, en algunas situaciones, la llama no puede autosustentarse. (Ferrero, 2006).

Cuando se produce un vertido accidental el resultado es una mancha de combustible en la superficie del mar. Esta mancha puede prender inmediatamente o al cabo de cierto tiempo, dependiendo de las condiciones del entorno. También hay que tener en cuenta la temperatura del combustible: si no está por encima de

la temperatura de inflamación, las posibilidades de que se produzca la ignición serán mínimas. De producirse la ignición, el combustible va quemando hasta que el grosor de la mancha se hace tan pequeño que, al ser tanto el calor que se pierde en el agua, el calor restante no puede evaporar el combustible suficiente como para alimentar la llama. (Casal *et al.*, 2002).

✓ Incendios en movimiento.

Los incendios en movimiento tienen lugar cuando un líquido inflamable se vierte sobre una superficie vertical o inclinada. Si se produce la ignición, el incendio se desplazará hacia donde se desplace el líquido. Esto crea una situación muy peligrosa, ya que en poco tiempo el fuego puede adquirir grandes dimensiones y abarcar zonas muy amplias dentro de una planta, aumentando notablemente los riesgos asociados. (Casal *et al.*, 2002 y Ferrero, 2006).

✓ BLEVE/Bola de fuego (*fireball*).

Una bola de fuego (*fireball* en la literatura anglosajona) según Casal *et al.*, (2002) y Ferrero, (2006) puede ser definida como la combustión rápida y turbulenta de una esfera ascendente de combustible. Este se produce por el estallido súbito y total, por calentamiento externo, de un recipiente que contiene un gas inflamable licuado a presión, cuando el material de la pared pierde resistencia mecánica y no puede resistir la presión interior. El suceso desencadenante de una bola de fuego puede ser un incendio de balsa que envuelva un tanque a presión o un incendio de chorro que incida sobre el depósito; en esta situación, puede ocurrir un BLEVE (*Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*).

Según Khan y Abbasi, (1998) la ignición instantánea de nube de vapor inflamable lleva a la formación de una bola de fuego. Su radio, su intensidad de calor de radiación, y la temperatura de la misma dependen de las dimensiones de la nube, así como la masa del vapor en esta. Es potencialmente el más desastroso de los fuegos industriales causado por gases inflamables guardados a presión. El daño asociado con tales fuegos puede ser evaluado en base a la dosis de radiación de calor recibido en un intervalo de tiempo dado.

La intensidad de la radiación térmica de una bola de fuego puede ser muy fuerte en distancias cortas. El poder de emisión de la superficie de las llamas depende del combustible y, por lo general, es significativamente más alto que el de un incendio en la piscina, ya que prácticamente toda la superficie de la bola de fuego está cubierta por llamas brillantes. (Hemmatian, 2016).

Este tipo de accidente ocurre sobre todo en tanques que almacenan gases licuados a presión y sobrecalentados, en los que por ruptura o fuga del tanque, el líquido del interior entra en ebullición y se incorpora masivamente al vapor en expansión. (Gyenes *et al.*, 2017).

Las bolas de fuego pueden alcanzar dimensiones de centenares de metros, implicando también el desprendimiento de una radiación térmica muy fuerte. Debido a la breve duración del fenómeno (entre 5 y 30 segundos), la radiación, aunque es enorme, normalmente no produce daños estructurales graves a casas y edificios, sin embargo, si puede perjudicar gravemente a las personas. (Ferrero, 2006).

✓ Borbollón (*Boilover*).

Según Rosero, (2015) borbollón es una traducción del vocablo anglosajón “*boilover*”. En efecto, el borbollón, definido como “erupción que hace el agua de abajo para arriba, elevándose sobre la superficie”, coincide notablemente con el fenómeno físico normalmente conocido por “*boilover*”.

Para Casal *et al.*, (2002), Hristov, (2016) y Nwabueze, (2016) este fenómeno se presenta durante un incendio de duración prolongada en tanques de almacenamiento que contienen mezclas de diversos hidrocarburos. Los componentes más pesados permanecen en la superficie y transmiten el calor a las capas inferiores de líquido, mientras que los más volátiles se desprenden y queman, debido a que la superficie del líquido se encuentra incendiada. Esto genera una onda de calor que desciende hacia la parte inferior del depósito. Si en este se da la presencia de agua, existe el riesgo de producirse la ebullición

instantánea de la misma. La generación prácticamente instantánea de una gran cantidad de vapor, con un volumen específico muy superior al del líquido, provocará una violenta erupción, con la formación de una bola de fuego y la proyección del combustible hacia el exterior. Dada la violencia del fenómeno, el combustible inflamado puede ser proyectado hasta distancias considerables.

Todos los combustibles no son propensos a la ocurrencia de este fenómeno, pues este está asociado fundamentalmente a aquellos compuestos que poseen una serie de componentes con una amplia gama de temperaturas de ebullición como lo es el petróleo crudo. Es mucho menos frecuente el *boilover* con hidrocarburos puros pero también es posible que estos ocurran. En todo caso, lo que si es necesario es que la temperatura de ebullición del combustible sea superior a la del agua. (Casal *et al.*, 2002).

Para que ocurra un *boilover* deben cumplirse, según Casal *et al.*, (2002), Ferrero, (2006), SHOUGESA, (2013), Nwabueze, (2016), Wehmeier y Mitropetros, (2016) y Gyenes *et al.*, (2017) tres condiciones:

1. Presencia de agua en el recipiente.
2. Generación de una ola de calor, es decir, la existencia de una amplia gama de volatilidades en los componentes presentes en el depósito.
3. Que la viscosidad del hidrocarburo sea suficientemente elevada para dificultar el paso del vapor.

Según Casal *et al.*, (2002), Ferrero, (2006) y Pessanha, (2015) el incendio de tipo borbollón puede manifestarse de dos formas:

1. *Boilover* de capa gruesa. *hot zone boilover*.
2. *Boilover* de capa fina. *thin layer boilover*.

La primera tipología se presenta generalmente en incendios de depósitos de almacenamiento de crudo, debido al gran espesor de combustible que se quema sobre el sustrato acuoso. Mientras la segunda se presenta cuando el espesor de la capa de combustibles que se quema es pequeño, lo que ocurre generalmente en el incendio de vertidos accidentales de combustible sobre el mar.

1.3.2 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico.

Explosión

Según Abbasi *et al.*, (2010), Piedra y Valdivieso, (2013) y Soler, (2013) una explosión es la liberación de energía en un intervalo temporal ínfimo. De esta forma, la potencia de la explosión es proporcional al tiempo requerido y su orden de magnitud ronda los gigavatios.

Mientras Casal *et al.*, (2002), Del Valle, (2012) y Galán, (2012) la definen como una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente que la origina mientras va disipando energía. La liberación de energía es bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible.

Por su parte Lugo, (2015) plantea que una explosión es un estallido asociado con un estrepitoso y agudo ruido y un frente expansivo de presión, que varía desde una onda de choque supersónica a una ráfaga de viento relativamente suave.

Las explosiones se caracterizan por una onda de choque que puede producir un estallido y causar daños a los edificios, romper ventanas y arrojar materiales a varios cientos de metros de distancia. Las lesiones y los daños son ocasionados primeramente por la onda de choque de la explosión. Hay personas golpeadas, derribadas, enterradas bajo edificios derrumbados y heridas por cristales volantes. Aunque los efectos de la presión excesiva pueden provocar directamente la muerte, es probable que esto solo se produzca con las personas que trabajan muy cerca del lugar de la explosión. La historia de las explosiones industriales muestra que los efectos indirectos de los edificios que se derrumban, los cristales y escombros que vuelan por el aire causan muchas más pérdidas de vidas humanas y heridas graves. (PNUMA/IPCS, 1990).

Para Galán, (2012) las explosiones presentan fundamentalmente dos orígenes:

1. Las explosiones que son consecuencias de un incendio. Este tipo de explosiones no tiene por qué estar asociadas al incendio, pero si están producidas por él. Ocurren cuando el calor originado por las llamas de cualquier tipo de incendio incide en la parte exterior de un recipiente o tubería calentándolo, dando lugar a aumentos de presión y temperatura y al fallo del material del continente.
2. Las explosiones que son consecuencias de otra explosión. Una explosión puede desencadenar fugas, incendios y otras explosiones. Las ondas explosivas pueden deformar y hasta llegar a destruir otros equipos y recipientes. Por otra parte, los proyectiles procedentes de una explosión pueden causar efectos similares.

Según PNUMA/IPCS (1990), Casal *et al.*, (2002), Abbasi *et al.*, (2010) y Galán, (2012) las explosiones pueden producirse en forma de una deflagración o de una detonación. En una deflagración, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es subsónica y los picos de presión alcanzan los 8 bar. En una detonación, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es supersónica; la onda de sobrepresión muestra un incremento de la presión casi instantáneo hasta el pico de máxima presión que puede ser hasta de 20 bar.

Tipos de explosiones accidentales

Según el producto implicado, así como el lugar en que tienen origen las explosiones, se pueden presentar diversos tipos de explosiones accidentales como pueden ser las explosiones de vapores confinados (CVE), explosión de una nube de vapor inflamable no confinada (UVCE), explosión por ignición de polvo combustible en suspensión y los BLEVE.

✓ Explosiones de vapores confinados (CVE).

Según Casal *et al.*, (2002), Santos, (2010) y Galán, (2012) este tipo de explosiones ocurren cuando habiéndose producido un escape de un gas o de un vapor inflamable en un área confinada, el gas está dentro de los límites de inflamabilidad y encuentra un punto de ignición que origine la combustión de las mismas.

Para Fernández, (2008) la energía liberada en una explosión confinada en un recipiente se distribuye entre energía de ondas de choque y energía de proyección de fragmentos.

Las explosiones confinadas en recipientes (CVE) pueden ser de dos tipos:

- Explosiones físicas: aquellas cuya energía liberada es de tipo físico. La energía física puede ser de presión, de tensión en metales, térmica y eléctrica. Las explosiones físicas más típicas son las debidas a la elevada presión de un gas, de tal modo que la energía proviene de la expansión adiabática del gas confinado en el recipiente.
- Explosiones químicas: aquellas originadas por la energía liberada en una reacción química. El caso más frecuente es la explosión por ignición de una mezcla de vapores inflamables y aire. La energía liberada proviene de la suma de la energía de expansión adiabática del gas y la energía de reacción química (que para una ignición es la energía de combustión del gas).

✓ Explosión de una nube de vapor inflamable no confinada (UVCE).

Las nubes de vapor no confinadas según Casal *et al.*, (2002), López, (2006) y Fabbri *et al.*, 2017 se generan a raíz del escape de una cantidad determinada de un vapor combustible, o bien de un líquido a partir del cual se formará el vapor; esto puede ocurrir en una planta de proceso, durante un transporte o por la rotura de un gasoducto.

Las explosiones no confinadas ocurren al aire libre y generalmente son originadas por un escape rápido de un fluido inflamable junto a una dispersión moderada, para formar una nube inflamable muy grande de aire e hidrocarburo. Las explosiones de nubes de vapor no confinadas son deflagraciones, en el caso en el que no se alcanzase una deflagración, tendríamos un incendio rápido en forma de llamarada, que se podría definir como un incendio con llama progresiva de difusión o premezclada con baja velocidad de llama sin producir onda de presión, su efecto más importante sería la radiación térmica. (Ferrero, 2006).

Las explosiones de nubes de vapor no confinadas representan uno de los mayores peligros dentro de la industria química, pues, a pesar de que los escapes tóxicos pueden, potencialmente, producir más víctimas, las primeras ocurren con mucha mayor frecuencia. Por otra parte, el problema principal de este tipo de explosiones proviene del hecho que, además del alcance que puede llegar a tener la nube, la ignición de ésta puede producirse en un punto alejado de la fuente origen del vertido y afectar a grandes áreas. (Casal *et al.*, 2002).

✓ Explosión por ignición de polvo combustible en suspensión.

En principio, cualquier producto sólido que sea combustible en aire, puede experimentar este tipo de explosión, siempre y cuando se encuentre dividido en partículas lo suficientemente pequeñas y esté en suspensión en una cantidad de aire lo bastante grande, como para que cada partícula tenga espacio suficiente para arder libremente. (Casal *et al.*, 2002).

Según Galán, (2012) se ha estudiado que prácticamente todos los sólidos en circunstancias especiales, en un estado pulverulento, pueden generar un fenómeno de explosión. Este tipo de explosiones ocurren en espacios confinados, tales como silos o depósitos.

Según Casal *et al.*, (2002) en algunos casos, las partículas metálicas pueden reaccionar con otros gases, pero lo más frecuente es que la reacción tenga lugar con oxígeno. Únicamente aquellos materiales que son estables en oxígeno no

experimentan este tipo de fenómeno; es el caso del polvo de silicatos, sulfatos, nitratos, carbonatos y fosfatos, como pueden ser el cemento portland, la arena, etc.

✓ BLEVE.

Acrónimo de la expresión inglesa "*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*". Estallido producido por calentamiento externo de un recipiente que contiene un líquido a presión, al perder resistencia mecánica el material de la pared y estanqueidad bruscamente. El estallido es particularmente violento, pues al estar el líquido interior muy sobrecalentado, se produce su ebullición a partir de la nucleación homogénea instantánea de una gran parte del mismo. (López, 2006, Habib, 2015 y Rosero, 2015).

Según Hemmatian, (2016) el acrónimo BLEVE fue acuñado en 1957 por tres trabajadores de *Factory Mutual Research Corporation*, J.B.Smith, W.S.Marsh y W.L.Walls. Habían analizado la posibilidad de falla de un recipiente que contenía una mezcla sobrecalentada de formalina y fenol, y habían creído que el contenedor había sufrido una "explosión de vapor que expandía el líquido hirviendo".

Por su parte Casal *et al.*, (2002) y Blengini *et al.*, (2017) plantean que el BLEVE es uno de los peores accidentes que pueden ocurrir en la industria química o en el transporte de mercancías peligrosas. Este accidente ocurre con cierta periodicidad pues las sustancias que le pueden dar origen (butano, propano, cloruro de vinilo, cloro, etc.) son relativamente comunes en la industria, y abundan las instalaciones susceptibles de sufrirlo (depósitos, cisternas). El origen puede ser diverso (reacción fuera de control, colisión, etc.), pero una de las causas más frecuentes es la acción del fuego sobre un recipiente.

1.3.3 Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo químico.

Nubes Tóxicas

En la industria química según Casal *et al.*, (2002) se producen un gran número de accidentes por la pérdida de contención en depósitos y tuberías que almacenan y transportan productos en forma gaseosa o líquida. En la mayoría de los casos estas sustancias son peligrosas para la salud y el medio ambiente.

Según Fernández, (2008) la dispersión de gases con características toxicológicas dará lugar a nubes tóxicas. De los diferentes desarrollos accidentales que pueden considerarse como consecuencia de la emisión de una sustancia, a menudo las mayores distancias de consecuencias suelen venir asociados a las nubes tóxicas. En el caso de las nubes tóxicas, en lugar que un determinado nivel de concentración o un tiempo de exposición, el concepto de interés es la dosis inhalada.

Para Díaz-Ovalle *et al.*, (2009) y Vázquez-Román *et al.*, (2009) cuando se produce una fuga de un producto tóxico se forma una nube tóxica si esta alcanza niveles de concentración de forma tal que las personas expuestas puedan sufrir síntomas o efectos peligrosos para la salud.

Las nubes tóxicas según Khan y Abbasi, (1998) tienen un rango de acción mayor que el de las explosiones e incendios debido a la facilidad de dispersión de estas lo cual aumenta sus probabilidades de entran en contacto con sistemas vivientes.

La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo, a medida que va disminuyendo su concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal. En el caso de gases pesados, la dispersión se produce incluso en dirección contraria al viento. (Casal *et al.*, 2002).

1.4 Software de evaluación de áreas de atmósferas peligrosas.

En la actualidad existen varios *softwares* que pueden ser utilizados para estimar las áreas de atmósferas peligrosas entre los que se encuentran los siguientes:

Software CALMET y CALPUFF

El sistema de modelado CALMET y CALPUFF (*EarhTEch*, Inc., 2000) fue desarrollado por *Earth Tech* (Concord, MA) para simular emisiones continuas de paquetes de contaminantes usando los campos de vientos particulares de una región específica. A través del modelo CALMET, se calculan las estructuras de viento del área de estudio y CALPUFF calcula la dispersión de contaminantes en los sitios receptores, tomando en cuenta campos de viento tridimensionales complejos, particularmente importante para las características de las termoeléctricas que se ubican en las áreas costeras. Este sistema, es capaz de calcular las concentraciones de los contaminantes, distribuidos en el dominio de estudio, a diferentes horas. (Castro *et al.*, 2013).

El modelo CALMET según Castro *et al.*, (2013) tiene la capacidad de asimilar los campos meteorológicos de MM5 y de ajustarlos a la malla más fina una interpolación sofisticada. Este campo de vientos es mejorado con las consideraciones de los efectos del terreno, ajustando las observaciones de superficie y los datos de los perfiles verticales con valores ponderados que el usuario asigna. Además de reproducir los campos de viento de la región, CALMET cuenta con un módulo de micrometeorología que describe las características de capa de mezclado, campos tridimensionales de temperatura y parámetros que utiliza CALPUFF en sus rutinas de cálculo de la dispersión.

Según Rodríguez *et al.*, (2014) la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) tiene el modelo CALPUFF como parte de los paquetes de *software* recomendados para evaluar la dispersión de contaminantes y el transporte de contaminantes a gran escala y también para usar a escalas locales. CALPUFF es un modelo muy útil en estudios de impacto ambiental de zonas mineras del carbón

y tiene la gran ventaja de permitir el uso de datos meteorológicos reales juntos con datos de modelos pronósticos más fácilmente.

Software DEGADIS (*Dense Gas Dispersion Model*)

El modelo DEGADIS fue desarrollado originalmente para los Guardacostas de Estados Unidos y el Instituto de Investigación del Gas, primordialmente para la simulación de la dispersión de gases criogénicos inflamables. (Castro D. y Castro K., 2014 y Hernández, 2017).

Según Hernández, (2017) la implementación de DEGADIS en una computadora personal se patrocinó por el Instituto de Investigación Gas y el Instituto Americano del Petróleo, donde actualmente se usa con veracidad.

Software DISPER 5.2

Según Castro *et al.*, (2013) DISPER 5.2, 2012 es ideal para estudios de impacto ambiental, auditorías medioambientales y para la gestión ambiental en general, pues 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: NOS, CO₂, NO₂, sulfatos, metales pesados, compuestos inorgánicos, clorofluorocarbonos, contaminantes secundarios, compuestos inorgánicos, óxidos, anhídridos, metales contaminantes, ozono, óxido nitroso, benceno, alcanos, compuestos orgánicos, sustancias organolépticas, anhídrido carbónico, amoníaco, bióxido de carbono, dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrocarburos, pesticidas, plomo, arsénico, clorofluorocarbonados, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles, fotoquímicos, lluvia ácida, smog, etc.

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

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

Permite realizar estudios de riesgo en industrias contaminantes, pues permite evaluar la contaminación bajo condiciones teóricas extremas (excesiva emisión, vientos fijos). Este *software* fue realizado íntegramente en castellano. (Castro D. y Castro K., 2014).

Software OiRA (Evaluación Interactiva de Riesgos en Línea)

Según la AESST, (2017) y Hernández, (2017) es una plataforma *web* que permite la creación de herramientas de evaluación de riesgos sectoriales en cualquier lengua y de un modo fácil y normalizado. Está basada en el instrumento de evaluación de riesgos neerlandés denominado *RI&E*. El propósito de la herramienta OiRA es realizar la evaluación de riesgos eficazmente en microempresas y pequeñas empresas donde exista desconocimiento total de la gestión y evaluación del riesgo laboral.

OiRA propone un enfoque en diferentes etapas al proceso de evaluación de riesgos capaces de guiar a los usuarios a través del mismo. Este empieza por la identificación de los riesgos en el lugar de trabajo, continua con del proceso de ejecución de acciones preventivas y concluye con la orientación en cuanto al seguimiento y la notificación de los riesgos. Este *software* habitualmente se usa en otras industrias diferentes de la química como los trabajadores de peluquería, panaderías y conductores de camión, entre otros. (Hernández, 2017).

Software SCREEN

Según EPA, (2004), el modelo de pluma Gaussiana SCREEN fue diseñado 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, pues sus requisitos de información son mínimos y demanda poco tiempo de cómputo.

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. (Castro D. y Castro K., 2014).

La información básica demandada por el modelo SCREEN son los datos sobre emisiones de la fuente (g/s), la altura de la chimenea (m), el diámetro interior de la chimenea (m), la velocidad de salida del gas de la chimenea (m/s), la temperatura del gas de la chimenea (K), la temperatura ambiente (K) y la altura del receptor sobre el suelo (m). (Castro *et al.*, 2013).

Software ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*)

Según Piedra y Valdivieso, (2013) el *software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres*, en español Localización de Áreas de Atmósferas Peligrosas) 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. El mismo fue desarrollado por la colaboración de las agencias norteamericanas NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) y EPA (*Environmental Protection Agency*).

Este programa tiene como propósito primario una estimación de los riesgos asociados con el vertimiento accidental de sustancias volátiles e inflamables. Permite cuantificar el impacto sobre la salud humana en varias situaciones como la inhalación de nubes tóxicas, la radiación térmica en los incendios y el efecto de la onda de presión en las explosiones. (Ilić *et al.*, 2018 y Mišić *et al.*, 2018).

El programa ALOHA emplea en sus cálculos dos modelos de dispersión: un modelo Gaussiano para gases ligeros que ascienden rápidamente, y el modelo Degadis para gases densos que se dispersan a ras de suelo. Ambos modelos 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. (ARCOPOL, 2015).

Su biblioteca química posee información sobre las propiedades físicas acerca de más de mil compuestos químicos peligrosos de uso común para la industria. ALOHA es un modelo de dispersión aérea que puede ser empleado como instrumento para prever el movimiento y dispersión de los gases, predice concentraciones contaminantes a favor del viento desde la fuente de un derrame, tomando en cuenta las características físicas del material derramado. Da cuenta de algunas de las características del sitio del derrame, las condiciones meteorológicas y las circunstancias de la descarga. (Renjith, 2010 y Hernández, 2017).

Por su parte Castro D. y Castro K., (2014) plantea que este programa está diseñado para minimizar los errores del operador, pues chequea la información que entra el usuario y avisa cuando se comete un error, lo que permite su operación exitosa durante situaciones de alta presión.

El autor considera que de los diferentes programas informáticos que pueden ser empleados, el ALOHA es el más adecuado para la evaluación de atmósferas peligrosas, pues el mismo ofrece buenos resultados con la suficiente rapidez.

Además, este *software* según Orozco *et al.*, (2019) esta abalado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba (CITMA) para obtener la dispersión de contaminantes en la atmósfera y poder determinar su área de alcance.

1.5 Método para la determinación de afectaciones humanas.

Los modelos de vulnerabilidad sirven para determinar las consecuencias a las personas y edificios expuestos a una determinada carga térmica, tóxica o de sobrepresión. Estos modelos se basan en experiencias realizadas con animales en laboratorio o en estudios de las muertes o lesiones de accidentes ocurridos. Entre los modelos de vulnerabilidad se destaca el método «*Probit*», que es un método estadístico que nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo. (Domínguez, 2014).

Por su parte Casal *et al.*, (2002) plantea que la *Probit* Y es una medida del porcentaje de la población vulnerable sometida a un fenómeno perjudicial de una determinada intensidad (V), que recibe un daño determinado. Tiene una distribución normal, con una media de 5 y una desviación normal de 1. La relación entre la variable Probit (Y) y la probabilidad P es responde a la expresión 1.1.

$$P = \frac{1}{\sqrt{2p}} \int_{-\infty}^{Y-5} \exp \left[-\frac{V^2}{2} \right] dV \quad 1.1$$

Esta relación tiene la ventaja de transformar la función sigmoideal que corresponde a la relación dosis-respuesta en una línea recta cuando se representa la función *Probit* a escala lineal; lo que facilita considerablemente el ajuste de las constantes. (Casal *et al.*, 2002).

Según Domínguez, (2014) la fórmula empleada para este modelo de vulnerabilidad se basa en una función matemática lineal de carácter empírico extraída de estudios experimentales representada por la expresión 1.2. El valor «*Probit*» permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá

afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte, a causa de una carga de exposición determinada, cuyos 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.

$$Pr = a + b \cdot \ln V \quad 1.2$$

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.

1.6. Conclusiones Parciales.

1. En las industrias petroquímicas o en instalaciones que almacenan combustibles los accidentes de mayor impacto destructivo que pueden ocurrir son los incendios, las explosiones y las nubes tóxicas.
2. El *software* ALOHA satisface plenamente la necesidad de localizar las áreas de atmosferas peligrosas para poder evaluar sus consecuencias.
3. Las ecuaciones *Probit* son un método sencillo para la determinación de las posibles afectaciones a las personas de la planta y sus alrededores.

Capítulo 2: Materiales y métodos.

En este capítulo se realiza una caracterización de la T-320 perteneciente a la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas. Se establece la metodología empleada para caracterizar las sustancias objeto de estudio, que en este caso son la gasolina de aviación y el turbocombustible. Además, se describen las metodologías de análisis y evaluación de riesgos que serán empleadas en esta investigación.

2.1 Caracterización de la Empresa.

La UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas, creada el 13 de diciembre de 1976, se encuentra enclavada en el km 4½ en la Zona Industrial del municipio de Matanzas, la cual se encarga de la distribución y comercialización del petróleo crudo y sus derivados, garantizando cantidad, plazo, calidad y uso racional. Entre los principales mercados de la misma, se puede destacar las termoeléctricas, la Unión del Cemento, la generación de electricidad por Grupos Electrógenos de Diésel y Petróleo Combustible, la Cadena de Servicentros, el Níquel y la red minorista. Esta empresa cuenta con la peculiaridad de utilizar todas las vías de comercialización: la terrestre a través de camiones cisternas, oleoductos y ferrocarriles y la marítima, siendo esta última la más importante, pues a través de ella se comercializan los mayores volúmenes de combustible.

La Empresa cuenta con cinco áreas operacionales para realizar la comercialización:

- ✓ Terminal 320 (T-320): en esta área se operan básicamente los productos blancos. El combustible se comercializa utilizando carros cisterna y ferrocarriles.
- ✓ Base de Crudo y Suministro (BCS): se operan en esta área generalmente los productos negros. Aquí convergen los oleoductos de las principales

productoras de crudo del país, además se realizan mezclas para mejorar el crudo nativo.

- ✓ Base en Tierra o Base de Supertanqueros (BS): en esta área se almacena fundamentalmente Fuel Oil y Diésel.
- ✓ Planta Caribe o Planta de Gas Licuado del Petróleo (PGL): se dedica a la recepción del gas y el llenado y distribución de botellones a toda la provincia, usando la vía terrestre por camiones cisternas, y la marítima.
- ✓ Área de los muelles: la Empresa cuenta con cinco muelles (PT-1, PC-2, PC-3, Bayona y Frank País) que se dedican a la entrega y recepción de los diferentes combustibles.

Además, cuenta con un laboratorio para el control de calidad en las operaciones, con un alcance de 20 ensayos acreditados, un taller para realizar operaciones de mantenimiento y una planta de tratamiento de residuales con parámetros de vertimientos seguros. (Anexo 1).

Entre los productos blancos o claros se encuentran:

- Gasolina regular.
- Gasolina especial.
- Gasolina de aviación (B-100).
- Diésel Regular.
- Diésel Especial.
- Naftas (NSRV), Nafta industrial, Virgen ligera, pesada.
- Jet A-1 (turbocombustible).
- Keroseno.
- Gas Licuado del Petróleo (GLP).

Los productos negros u oscuros son:

- Crudos Importados. Merey, Mesa 30, DCO, etc.
- Crudos Nativos. PCNM 1400, 900, 650, 450.
- Fuel oil. (PCP).

- *Cutter Stock*.
- IFO: Fuel Oil Internacional.

La Terminal 320, donde se realiza la investigación, cuenta con 28 tanques, dos cargaderos/descargaderos de vagones cisternas de ferrocarril, una estación de bombas de productos claros y prietos, tres cargaderos de camiones cisternas de productos claros y un descargadero de camiones cisternas.

2.2 Procedimiento de identificación de la sustancia involucrada en el proceso.

Para la identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial 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, esta debe ser tomada para cada una de las sustancias peligrosas.

Según Orozco, (2017) la caracterización de las sustancias se realiza por la siguiente guía:

Identificación del producto.

- Nombre del producto.
- Fórmula química.
- Etiquetado de peligro (frases R y S), así como las que la identifican por otros efectos.

Datos físicos.

- Apariencia.
- Punto de ebullición.
- Punto de fusión.
- Solubilidad.
- Densidad.

- TLV (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.
- Biodegradabilidad.
- Corrosión.
- Capacidad calorífica.

Peligros para la salud.

- Concentración permisible.
- Exposición permisible.
- Partes del cuerpo que afecta.
- Forma de entrada al organismo.
- Toxicidad.

Tabla 2.1: Modelo para la clasificación toxicológica de las sustancias involucradas en el proceso.

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR

Fuente: Orozco, (2017)

Leyenda:

TA: Toxicidad aguda.

I: Irritación.

SB: Sensibilización.

TDR: Toxicidad por dosis repetida.

MG: Mutagenicidad.

CG: Carcinogenicidad.

C: Corrosión.

TR: Toxicidad para la reproducción.

Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- Nombre del producto almacenado.
- Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal, etc.).
- Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro).
- Material de construcción.
- Protección del recipiente (interior o exterior).
- Condiciones de almacenamiento de la sustancia.
- Características de los alrededores del recipiente.

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso.
- Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura).
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.
- Material de construcción de los equipos donde se almacena la sustancia.
- Protección del sistema de tuberías.

En el anexo 2 aparece la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

2.3 Características y particularidades del *software* ALOHA.

El *software* ALOHA de la EPA de EEUU permite cuantificar los riesgos a través de la modelación de los mismos y determinar para aquellos riesgos posibles de cuantificar, las áreas de atmósferas peligrosas. Se utiliza la versión 5.4.7 del 2018 que aporta resultados confiables.

Características del *software*:

- Se modelan tres categorías peligrosas: dispersión de una nube tóxica, incendios y explosiones
- Se basan en los modelos de Dispersión del Aire para estimar el movimiento y dispersión de la nube de gas químico.
- Se estima:
 - Dispersión de gas tóxica.
 - Valores de sobrepresión desde la explosión de una nube de vapor.
 - Área inflamable de la nube de vapor.
- Modela las áreas para emisiones de corta duración de compuestos peligrosos claves: tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión que pueden exceder los niveles de interés especificados por el usuario (*Levels of Concern LOCs*). Los resultados son representados en diagramas “Y” contra “X” donde nos indica la amplitud del área de localización en el eje “Y” y su alcance en el eje “X”. (*Threat zone plot*).
- Constituye una herramienta que se usa para:
 - Respuesta de emergencia.
 - Planificación.
 - Propósitos académicos.
- No puede ser usado para:
 - Emisiones de sustancias radioactivas.
 - Licencias ambientales de chimeneas de gas.
 - Emisiones fugitivas.

La dispersión de los químicos en el aire es un término usado por los especialistas que incluye la advección y la difusión. Una nube de gas

dispersándose se moverá por advección en la dirección del viento y por difusión en flujo cruzado en la dirección vertical del viento. Utiliza dos modelos:

- Modelo Gaussiano para los gases que tienen la misma densidad que el aire.
- Modelo de Gases Pesados utilizado para los gases que son más pesados que el aire donde son emitidos.

Algunos de los términos usados son:

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

ALOHA define las propiedades que condicionan un fuego de acuerdo a lo planteado por Botta, (2012) y Martínez, (2016) como:

- Volatilidad: Medida de cómo un compuesto químico fácilmente se evapora.
- Punto o temperatura de inflamación (*Flash Point*): Es la más baja temperatura donde un líquido inflamable evapora lo suficiente para alcanzar un fuego sin la fuente de ignición presente.
- Límites de Inflamabilidad: Llamado Límite de Explosividad Inferior (LEL) y Límite de Explosividad Superior (UEL).

Si el compuesto químico en fase vapor se pone en contacto con la fuente de ignición, solo se producirá el fuego si la relación aire-combustible está entre LEL y UEL. Compuestos con alta volatilidad y baja temperatura de inflamación tienen bajos valores de LEL. ALOHA no modela subproductos del fuego: hollín, humo, ceniza y compuestos químicos de la reacción.

Los niveles de radiación térmica se indican a través del LOC. El LOC es un nivel que marca el inicio de la radiación térmica, usualmente el nivel sobre el cual este peligro puede ocurrir.

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

- Rojo: 10 kW/m² (potencialmente letal en el intervalo de 60 seg.)
- Naranja: 5 kW/m² (quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 seg.)
- Amarillo: 2 kW/m² (dolor en 60 seg.)

Los niveles de sobrepresión están dados por el nivel de presión de la onda de explosión sobre el cual el peligro puede existir, estos son:

- Rojo: 8 psi (destrucción de edificios)
- Naranja: 3,5 psi (serios daños)
- Amarillo: 1 psi (destrucción de cristales)

ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.

Modela cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos. La explicación de estos escenarios puede verse en el manual de usuario *ALOHA*, (2016).

- Dardos de fuego
- Piscinas de fuego
- *BLEVE*
- Áreas inflamables
- Explosión de una nube de vapor

Debe trabajarse con cuidado para predecir diferentes situaciones, las cuales son consideradas sus limitantes:

- Velocidades del viento muy bajas.
- Condiciones atmosféricas muy estables.

- Irregularidades de la concentración del compuesto químico particularmente cerca de la fuente.

Además, el modelo no incorpora efectos de:

- Reacciones químicas.
- Partículas.
- Mezcla de compuestos químicos.
- Terreno.
- Fragmentos peligrosos.

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

La organización básica del programa consta de varios pasos que son:

1. Indicar la ciudad donde puede ocurrir el accidente químico.
2. Seleccionar el compuesto químico.
3. Dar la información de las condiciones meteorológicas en el período que queremos realizar la predicción del evento.
4. Describir cómo los compuestos químicos escapan a la atmósfera.
5. El *software* ALOHA da su respuesta mostrando en el monitor un diagrama denominado *Threat Zone*, el cual muestra el área donde las concentraciones del compuesto químico en el aire pueden ser lo suficientemente altas para que provoque afectaciones a la población, en los tres niveles de LOC.

En el caso que se suministre que ocurre la inversión hay que dar la altura a la cual ocurre este proceso.

Para entregar los datos de humedad del aire se podrá indicar el valor particular o dar los casos extremos, húmedo, medio o seco.

Los resultados que se obtienen del software, además de los gráficos pueden ser encontrados en un texto sumario.

- Datos del sitio.
- Datos del químico.
- Datos atmosféricos.
- Fuente Directa.
- Zona Tratada.

Para la mejor comprensión de los resultados cualitativos de este *software* se hace referencia por NOAA, (2016) a los diferentes LOC que se utilizan:

AEGL: Las siglas representan los niveles de LOC para una exposición aguda, de ahí la sigla *Acute Exposure Guideline Levels*, son los lineamientos de los niveles de una exposición aguda.

ERPG: Las siglas, se utilizan para la planificación de los planes de emergencia, de ahí *Emergency Response Planning Guidelines*.

ERPG-1: La concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

ERPG- 2: La concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora pueden experimentar o desarrollar daños irreversibles u otros daños serios para la salud o síntomas que le impiden la habilidad individual para realizar una acción de protección.

ERPG- 3: Es la concentración máxima dispersada bajo la cual es posible creer que los individuos que estén expuestos durante 1 hora sufrirán efectos sobre la salud y puede correr peligro su vida.

TEEL: Las siglas se utilizan cuando no se conocen exactamente los valores de ERPG para un compuesto químico, pues representa los niveles temporales, *Temporal Emergenccy Exposure Levels*.

TEEL-1: Es 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.

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

TEEL-3: 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.

IDLH: Las siglas están relacionadas con los niveles permisibles de exposición del hombre a compuestos químicos en zonas de trabajo sin afectar la salud y la vida, de ahí las siglas *Inmediatly Dangerous to Life or Health*. No está designado para ser tomado como un límite de exposición a toda la población ya que no está definido en correspondencia con la sensibilidad de algunas personas como los niños. No deben usarse los valores del IDLH para identificar definitivamente condiciones peligrosas en términos generales.

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

Tabla 2.2: Fuentes y escenarios de trabajo del ALOHA.

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

Fuente: Manual de Usuario ALOHA, (2007).

2.4 Método “*Probit*”.

Este método parte de una manifestación física de un incidente y da como resultado una previsión de los daños a las personas expuestas, es decir, el número de heridos y de víctimas fatales. Este método permite determinar las afectaciones como consecuencia de la exposición a la radiación térmica, la sobrepresión y a la inhalación de sustancias tóxicas, en esta investigación el autor solo abordara las dos primeras.

Vulnerabilidad a explosiones.

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.

Según Rodríguez, (2014), las ecuaciones *Probit* para estas consecuencias son las siguientes:

- ✓ Porcentaje de muertes por hemorragia pulmonar:

$$Pr = -77.1 + 6.91 \cdot \ln P \quad 2.1$$

- ✓ Porcentaje de afectados por rotura de tímpano:

$$Pr = -15,6 + 1,93 \cdot \ln(P) \quad 2.2$$

Donde P es la sobrepresión máxima expresada en N/m².

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

$$Pr = -46,1 + 4,82 \cdot \ln(J) \quad 2.3$$

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

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

$$Pr = -39,1 + 4,45 \cdot \ln(J) \quad 2.4$$

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.

Vulnerabilidad a radiaciones térmicas.

Se emplea para determinar el porcentaje de personas afectadas por los efectos de las radiaciones térmicas, en función de la intensidad de irradiación recibida y del tiempo de exposición o dosis de radiación calorífica recibida. Para el caso de estudio, se establecen 60 segundos como tiempo de exposición, para actuar en concordancia con ALOHA.

En el caso de fugas de líquidos y gases inflamables y con una ignición inmediata, se podrá generar un charco de fuego, una explosión BLEVE o un dardo de fuego. 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 deben ser evaluados en cada caso.

La institución holandesa TNO (Organización holandesa para la investigación científica) presenta las ecuaciones *Probit* siguientes:

✓ Quemaduras mortales:

• con ropa de protección: $Pr = -37,23 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3})$ 2.5

• sin protección: $Pr = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3})$ 2.6

✓ Quemaduras de segundo grado:

$Pr = -43,14 + 3,0188 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3})$ 2.7

✓ Quemaduras de primer grado:

$Pr = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3})$ 2.8

Donde:

t =Tiempo efectivo de exposición (s).

I = Intensidad de irradiación (W/m^2).

Para convertir el valor de *Probit Pr* en porcentaje de afectados se utiliza la tabla mostrada en el anexo 3 expuesta por Domínguez, (2014).

2.5 Análisis del Impacto Económico.

Para realizar el análisis económico se evalúa la magnitud de las afectaciones en las distintas áreas, para poder determinar cada uno de los equipos afectados. Seguidamente a través del CAPCOST 2006 se obtiene el valor del costo de adquisición de cada uno, y en el caso en que el *software* CAPCOST no permita estimar los costos de adquisición, por ser capacidades superiores para las cuales está diseñado, se emplea el método del Factor de William o Economía de escala, para lograr la estimación. Después se actualizan los costos empleando los correspondientes Índices de Costos reportados por la bibliografía especializada, y finalmente se asume reposición total y se calcula el costo por reposición de todos los equipos dañados.

Capítulo 3: Análisis de los resultados.

En el presente capítulo se realiza un análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas mediante el *software* ALOHA, ocasionadas por los distintos escenarios de riesgo. Se determinan las afectaciones que originan estos accidentes sobre el personal de la UEB y la población del municipio de Matanzas. Además, se estima el impacto económico de un posible accidente.

3.1 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software.

El autor para trabajar con el *software* ALOHA, establece condiciones de trabajo, como son:

1. Se trabaja con los valores medios de las variables climatológicas: humedad y nubosidad, mientras que se usan las medias de las temperaturas máximas y mínimas para los escenarios que representan el día y la noche respectivamente; todos los datos climatológicos corresponden a los resultados obtenidos en sus estudios por Moya, (2010). (Anexo 4).
2. 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. En el primer cuadrante de la rosa de los vientos: N, NE y ENE; en el segundo: ESE; en el tercero: SW y WSW y en el cuarto: WNW y NNW.
3. 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.
4. La gasolina de aviación se evalúa como n-pentano según Shell, (1999) y el turbocombustible como n-nonano, al ser las propiedades físicas reportadas por el *software*, similares a las presentadas por dicho combustible en las fichas técnicas REPSOL, (2016), ESMAX, (2017) y BP Oíl, (2018).

En la instalación que se estudia, existen seis tanques para almacenar gasolina de aviación (TK14, TK18, TK19, TK20, TK21 y TK74) actualmente el TK14 es

sometido a un proceso de reparación, además existen tres tanques de almacenamiento de turbocombustible (TK13, TK22 y TK23).

Se realiza un estudio para el escenario nube tóxica en la dirección del viento N en el mes de enero, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 3.1: Evaluación de la nube tóxica para los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación en el mes de enero.

	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)
TK18	-	145	593
TK19	-	79	338
TK20	-	56	231
TK21	-	97	410
TK74	-	112	468

Tabla 3.2: Evaluación de la nube tóxica para los tanques de almacenamiento de turbocombustible en el mes de enero.

	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)
TK13	-	83	99
TK22	-	83	98
TK23	-	83	98

Como se observa en la tabla 3.1, para una misma velocidad del viento e iguales condiciones climatológicas, el largo de cada una de las zonas varía para todos los tanques. Mientras en la tabla 3.2, las dimensiones son similares para todos los tanques de turbocombustible.

5. En el caso de la gasolina de aviación, se trabaja con todos los tanques y en el caso del turbocombustible solo se analiza el TK13.

6. La dispersión de la nube tóxica se evalúa atendiendo a la segunda condición y para los meses: enero, abril, julio y octubre, pues son los que presentan mayores variaciones en las condiciones climatológicas según Díaz, (2013).
7. De acuerdo con los resultados ofrecidos por Hernández, (2017), el escenario explosión de una nube de vapor se evalúa atendiendo a la segunda condición y para los meses del año establecidos.
8. El escenario BLEVE se evalúa atendiendo únicamente al dispositivo de almacenamiento y sus condiciones de operación, según Díaz, (2013).

3.2 Resultados de la aplicación del *software* ALOHA.

A continuación, se realiza el análisis de los resultados de los valores considerados más relevantes, desde el punto de vista de las dimensiones y afectaciones de los escenarios. Para realizar este estudio se tuvo en cuenta las condiciones explicadas en el epígrafe anterior.

3.2.1 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por la nube tóxica.

Para predecir el posible comportamiento de la nube tóxica generada por un posible derrame de gasolina de aviación o de turbocombustible, se aplicó el *software* ALOHA para las condiciones planteadas anteriormente.

La siguiente tabla muestra un resumen de las áreas pertenecientes a la empresa que se pueden afectar por este escenario en los diferentes tanques que almacenan gasolina de aviación durante los meses objeto de estudio.

Tabla 3.3: Evaluación de las nubes tóxicas para los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación.

Tanques	Áreas afectadas	Meses de afectación
TK18	Bases de Crudo y Suministro	E,A,J,O
	Base en Tierra	J
	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio y Taller	E,A,J,O
	Muelle	E,A,J,O
TK19	Área de oficinas	J
	Laboratorio y Taller	J,O
TK20	-	-
TK21	Bases de Crudo y Suministro	A,J,O
	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio y Taller	E,A,J,O
TK74	Bases de Crudo y Suministro	A,J,O
	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio y Taller	E,A,J,O

En la tabla 3.3 se puede apreciar que el TK18 origina afectaciones en un mayor número de áreas, y que durante el mes de julio se producen la mayor parte de estas. Por tal razón se analiza la figura la figura 3.1, que corresponde a la nube tóxica originada por un derrame en el TK18 durante el mes de julio, en la dirección del viento que puede afectar a un mayor número de trabajadores, que en este caso son las oficinas, el laboratorio y el taller.



Figura 3.1: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica en zonas exteriores para la gasolina de aviación.

En la figura 3.1, el área de confianza que corresponde a la zona amarilla, con una concentración superior o igual a 3 000 ppm, abarca la mayor parte de la zona Este de la empresa, incluyendo las zonas anteriormente mencionadas, el muelle de aguas profundas y la mayor parte de la Base en Tierra. Los trabajadores expuestos a estas concentraciones pueden sufrir efectos moderados y transitorios sobre la salud como la irritación de los ojos, picor, rojez y lagrimeo ocular. La zona naranja, que corresponde a concentraciones superiores a 33 000 ppm incluye las zonas del laboratorio, el taller, la zona de la bahía de la T-320, y la Central Termoeléctrica José Martí. Las personas que se encuentran afectadas en esta zona presentarán efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impide tomar decisiones para protegerse, como mareos, náuseas, somnolencia y dolor abdominal. La zona roja, donde las concentraciones superan las 200 000 ppm, no sale de los límites de la T-320. Todos los individuos que se encuentren expuestos a estas condiciones están en una situación de riesgo para su vida, pues estas altas concentraciones producen graves efectos sobre el sistema nervioso central, incluyendo pérdida del conocimiento e incluso la muerte.

El software posibilita predecir, dentro del área que abarca la nube tóxica, el comportamiento de la concentración en los locales interiores, y en el exterior

durante 60 minutos. La siguiente figura muestra dicho comportamiento en la zona del laboratorio y el taller.

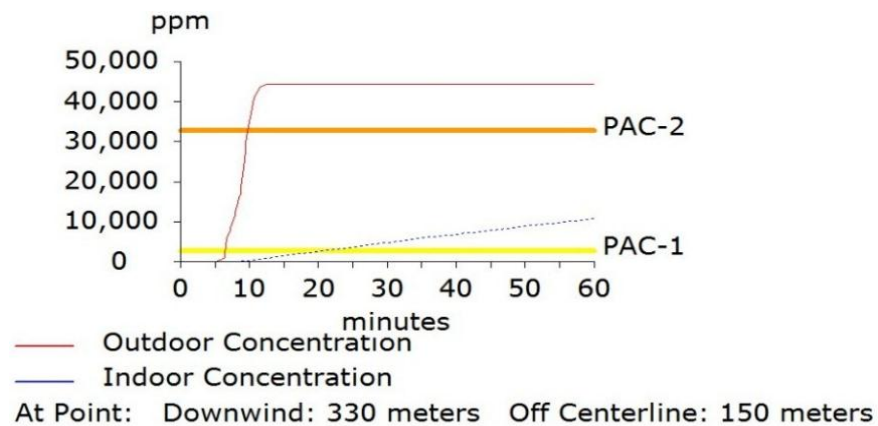


Figura 3.2: Afectaciones en locales interiores correspondiente al laboratorio y al taller ante una nube tóxica de gasolina de aviación.

Fuente: ALOHA, (2019)

En la figura se aprecia que a partir de los 10 minutos en el exterior se supera el PAC-2, que corresponde a la zona naranja; mientras que en el interior, al cabo de 15 minutos, se alcanza el PAC-1 perteneciente a la zona amarilla, durante este momento en el exterior ya se superó las 40 000 ppm donde las personas presentan síntomas que le impiden llevar a cabo acciones para protegerse, por lo que solo podrán prestar auxilio, a las que se encuentran en el interior, si cuentan con los medios de protección adecuados.

De igual manera en la figura 3.3 se analiza el comportamiento en la zona interior de las oficinas.

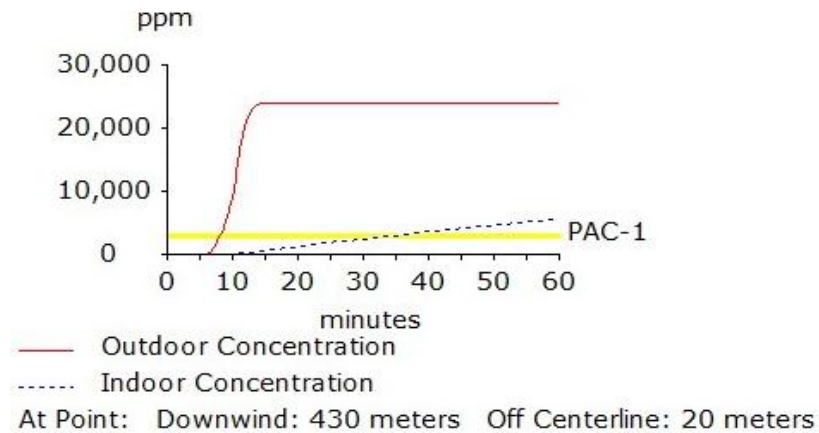


Figura 3.3: Afectaciones en locales interiores correspondientes a las oficinas ante una nube tóxica de gasolina de aviación.

Fuente: ALOHA, (2019)

En el gráfico anterior se muestra que a partir de los 7 minutos en las zonas exteriores, se alcanzan concentraciones superiores a las 3 000 ppm, mientras que en el interior estas concentraciones se superan pasados los 35 minutos. En estas condiciones solo se sufrirán afectaciones leves y se percibirá un olor claramente definido.

Una vez analizadas las áreas de atmósferas peligrosas originadas por un derrame de gasolina de aviación, se procede a realizar el mismo análisis para un derrame de turbocombustible.



Figura 3.4: Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica en zonas exteriores para el turbocombustible.

Como se aprecia en la figura anterior, el área de confianza de la nube tóxica no sobrepasa el área de los tanques de la T-320 y ni siquiera afecta las oficinas de la misma. Por esto solo ocurrirán afectaciones a los trabajadores que se encuentren transitando por la zona en estos momentos.

3.2.2 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas originadas por la explosión de una nube de vapor.

La explosión de una nube de vapor origina una sobrepresión ocasionada en la presencia de una fuente de ignición. Es necesario resaltar que este escenario surge de otro conocido como nube inflamable, en el cual la nube arde sin originar una sobrepresión, pues las llamas se trasladan lentamente, desde la fuente hasta su límite exterior, pero cuando la nube se inflama súbitamente en toda su área se convierte en una nube explosiva. Será solo inflamable cuando las concentraciones en la nube se encuentren entre los límites superior e inferior de inflamabilidad.

La siguiente tabla muestra un resumen de las áreas de la empresa que pueden ser afectadas por la explosión de una nube de vapor, en los diferentes tanques de almacenamiento de gasolina de aviación durante los meses estudiados.

Tabla 3.4: Evaluación de las nubes explosiva para los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación.

Tanques	Áreas afectadas	meses de afectación
18	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio y Taller	E,A,J,O
19	-	
20	-	
21	Área de oficinas	J
	Laboratorio y Taller	J,O
74	Laboratorio y Taller	A,J,O

En la tabla 3.4 se puede apreciar, de manera similar a lo ocurrido en el escenario de nube tóxica, que el TK18 provoca afectaciones sobre las áreas de las oficinas, el laboratorio y el taller durante las diferentes estaciones del año, y en el mes de julio se producen la mayor parte de las afectaciones. Por ello a continuación se muestra en la figura 3.5 la explosión de una nube de vapor en el TK18 durante el mes de julio, en la dirección del viento que afecta a un mayor número de personas.



Figura 3.5: Comportamiento de la explosión de una nube de vapor en zonas exteriores para la gasolina de aviación.

En la figura anterior se aprecia que no existe zona roja, por lo que en ningún momento se alcanzan presiones superiores a los 8 psi que provocan la destrucción total de edificios. La zona naranja, donde la presión alcanza los 3.5 psi, presenta 537 metros de largo y 189 metros de ancho, en dicha área se producen ligeros daños a las edificaciones, dentro de la misma se encuentran las oficinas, donde se alcanzan los 6.36 psi, valor que según ALOHA, (2007) ocasiona daños serios, mientras que, para Wells, (2003) estas condiciones originarán la destrucción completa de las estructuras cercanas. La zona amarilla donde la presión supera 1 psi posee 666 metros de largo y 669 metros de ancho, en esta área se producen la rotura de cristales, en la misma se encuentran el laboratorio y el taller, donde el valor de la sobrepresión es de 2.56 psi, lo que provocará el

colapso parcial de las paredes y los techos según Wells, (2003). Además, es necesario señalar que las líneas de confianza de la zona amarilla incluyen el muelle de aguas profundas y a dos tanques de la Base en Tierra, por lo que una fluctuación del viento originaría afectaciones en estos; mientras las de la zona naranja incluyen a las oficinas de la T-320, la CTE José Martí, el laboratorio y el taller, esto aumentaría las afectaciones en estos locales.

En el caso de los tanques de turbocombustible, los derrames no ocasionan la formación de una nube explosiva.

Los escenarios analizados resultan ser los más peligrosos con respecto al número de personas afectadas; un análisis similar puede realizarse para el resto de locales y los diferentes escenarios, a partir de lo reportado en el anexo 5.

Según se muestran en el anexo 6, para estas sustancias almacenadas en la T-320 no se producen afectaciones a los Consejos Populares del municipio Matanzas (anexo 7). Los escenarios simulados, con esta versión del programa, difieren de los resultados obtenidos en la investigación anterior. El autor considera que estos son más confiables por el uso de una versión superior del *software*.

3.2.3 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por el BLEVE.

El BLEVE es el otro de los escenarios analizados, este es uno de los más peligrosos y temidos por originar efectos devastadores. Los resultados obtenidos para ambos combustibles se muestran en las tablas 3.5 y 3.6.

Tabla 3.5: Dimensiones de las áreas generadas por el BLEVE para la gasolina de aviación.

Tanques	Zonas	Radio de la zona (m)	Diámetro de la bola de fuego (m)	Duración (s)
18	roja(10 kW/m ²)	1300	622	30
	naranja(5kW/m ²)	1800		
	amarillo(2kW/m ²)	2900		
19	roja(10 kW/m ²)	938	431	23
	naranja(5kW/m ²)	1300		
	amarillo(2kW/m ²)	2000		
20	roja(10 kW/m ²)	616	283	17
	naranja(5kW/m ²)	870		
	amarillo(2kW/m ²)	1400		
21	roja(10 kW/m ²)	876	410	22
	naranja(5kW/m ²)	1200		
	amarillo(2kW/m ²)	1900		
74	roja(10 kW/m ²)	1300	621	30
	naranja(5kW/m ²)	1800		
	amarillo(2kW/m ²)	2900		

En la tabla 3.5 se aprecia que el BLEVE generado por el TK18 presenta las mayores dimensiones, por lo que a continuación se muestra el mismo.

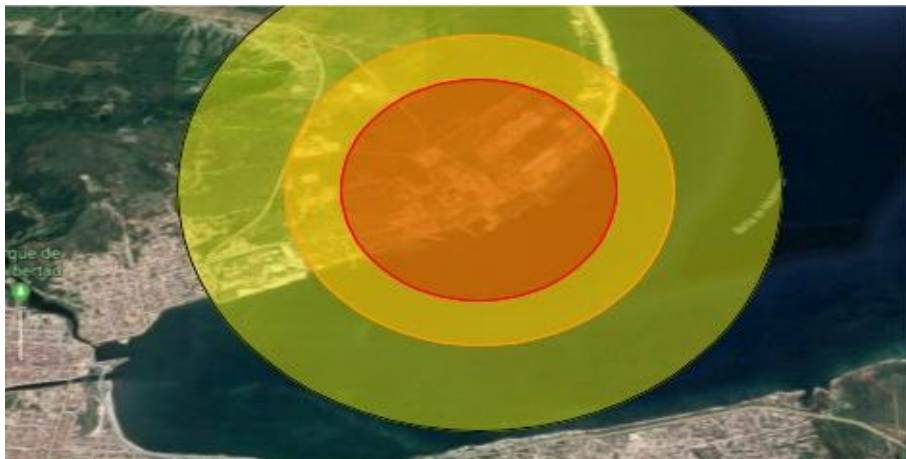


Figura 3.6: Comportamiento de la radiación originada por el BLEVE para la gasolina de aviación.

En la figura se aprecia que la zona roja, donde la radiación supera los 10 kW/m², posee 1 300 metros de radio, incluyendo a la CTE José Martí y toda la empresa,

salvo la Planta de Gas Licuado, estos niveles de radiación pueden llegar a ocasionar la muerte de los trabajadores. La zona naranja, en la cual la radiación supera los 5 kW/m², se extiende 1 800 metros, por lo que afecta al Comando de bomberos No. 1 de Matanzas, la Empresa Rayonitro con su planta de ácido sulfúrico, en estos locales el personal expuesto a estas condiciones corren el riesgo de sufrir quemaduras de segundo grado. Las personas que se encuentren en un radio de 2 900 metros de la fuente se encuentran dentro de la zona amarilla, donde la radiación supera los 2 kW/m² y es capaz de provocar irritación en la piel y dolor, esto afecta una parte de los pobladores de la zona Versalles.

Un análisis similar se realizó para los tanques de almacenamiento de turbocombustible. En este caso el TK13 presenta un volumen de líquido de 9 934 m³, equivalente a 7 193 364 kilogramos. El *software* ALOHA solo modela situaciones en las que la masa del líquido sea inferior o igual a los 5 000 000 kilogramos. El autor considera que una vez que se produzca un incendio alrededor del tanque, solo ocurrirá un BLEVE, cuando el tanque se encuentre al 62 % de su capacidad total, es decir que contenga 6 905 m³ de combustible, que es cuando alcanza los 5 000 000 kilogramos.

Tabla 3.6: Dimensiones de las áreas generadas por el BLEVE para el turbocombustible.

Tanques	Zonas	Radio de la zona (m)	Diámetro de la bola de fuego (m)	Duración (s)
TK13	roja(10 kW/m ²)	2000	992	43
	naranja(5 kW/m ²)	2800		
	amarillo(2 kW/m ²)	4400		

En la figura 3.7 se aprecia que la zona roja, donde la radiación puede ocasionar la muerte, tiene un radio de 2 000 metros, por lo que toda la empresa queda incluida en esta. El radio de la zona naranja, en la cual las personas pueden sufrir quemaduras de segundo grado, es de 2 800 metros, por lo que parte de la población de Versalles se verá afectada bajo esos niveles de radiación, mientras la zona amarilla presenta un radio de 4 400 metros, afectando el resto de

Versalles y los Consejos Populares de Playa y Peñas Altas, en esta área la población sufrirá de lesiones en la piel y dolor.

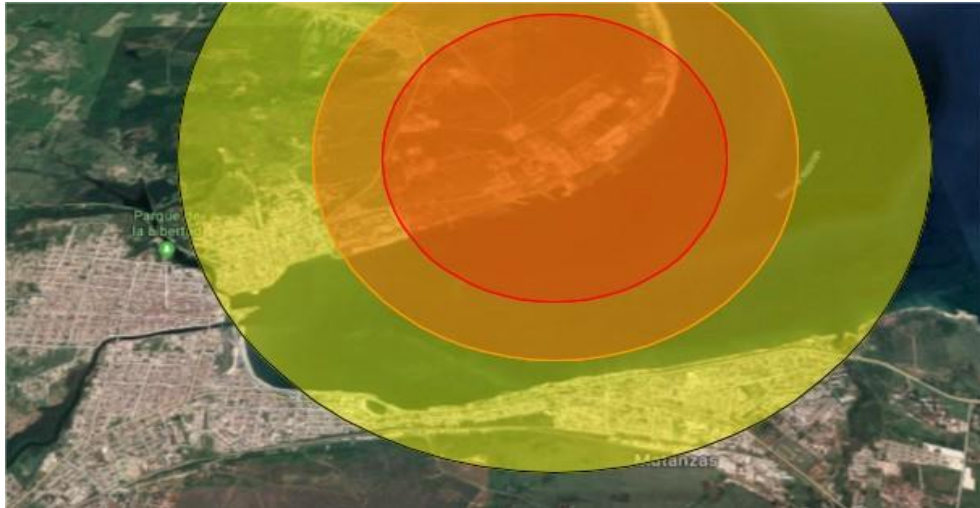


Figura 3.7: Comportamiento de la radiación originada por el BLEVE para el turbocombustible.

3.3 Análisis de resultados alcanzados por “*Probit*”.

Este método posibilita determinar las afectaciones provocadas a la salud de las personas que se encuentren dentro de las zonas de peligro, generadas por fenómenos de tipo térmico, mecánico y químico. En este epígrafe se analizarán las consecuencias de los escenarios representados en las figuras 3.5, 3.6 y 3.7. A partir de los porcentajes de afectaciones, se obtienen el número de personas afectadas utilizando los datos del personal de la UEB y el censo poblacional del año 2012 mostrados en los anexos 8 y 9 respectivamente.

3.3.1 Análisis de vulnerabilidad a explosiones.

Para el análisis de vulnerabilidad de los efectos de explosión se toma el escenario explosión de una nube de vapor. La siguiente tabla muestra el personal afectado.

Tabla 3.7: Afectaciones obtenidas por *Probit* para el escenario VCE.

Local afectado	Sobrepresión (psi)	Afectaciones							
		Rotura de tímpano		Muerte por colisión del cuerpo contra objetos		Lesiones por colisión del cuerpo contra objetos		Muertes por hemorragia pulmonar	
		Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.
Oficinas	6,36	5,03	150	5,42	195	8,46	295	-3,24	0
Laboratorio y taller	2,56	3,27	5	1,03	0	4,41	32	-9,53	0
Total			155		195		327		0

Como se muestra en la tabla anterior, en los locales analizados no se producirán muertes por hemorragia pulmonar. El mayor número de afectaciones corresponden a las lesiones por colisión del cuerpo contra objetos, que asciende a los 327 trabajadores en ambas zonas. El resultado más preocupante son las 195 pérdidas de vidas humanas, que se lamentarán en el área de oficinas, producto de colisiones del cuerpo con objetos. De forma conjunta 155 personas sufrirán de rotura de tímpano.

3.3.2 Análisis de vulnerabilidad por efectos de radiación térmica.

Los efectos de la radiación térmica se analizan para el escenario BLEVE ocasionados por las dos sustancias objeto de estudio. Las tablas 3.8 y 3.9 muestran los resultados obtenidos en estos análisis.

Tabla 3.8: Afectaciones obtenidas por *Probit* para el escenario BLEVE para la gasolina de aviación.

Local afectado	Radiación (kW/m ²)	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (con ropas de protección)		Quemaduras mortales (sin protección)		Quemaduras de segundo grado		Quemaduras de primer grado	
		Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.
Planta de Gas Licuado	3,94	1,51	0	2,36	0	2,54	0	5,85	21
Bases de Crudo y Suministro	78,3	11,71	30	12,56	30	14,58	30	17,88	30
Base en Tierra	15,4	6,16	18	7,01	21	8,03	21	11,34	21
Área de oficinas	58,5	10,72	295	11,57	295	13,40	295	16,71	295
Laboratorio y Taller	70,8	11,37	114	12,22	114	14,17	114	17,48	114
Muelle	38,7	9,31	49	10,16	49	11,74	49	15,05	49
Total			506		509		509		530

En la tabla anterior se puede apreciar que, debido a los altos niveles de radiación sufridos, todo el personal de la Base de Crudo y Suministro, las oficinas, el muelle, el laboratorio y el taller sufrirán graves quemaduras que pueden ocasionar la muerte. En el caso de la Planta de Gas Licuado, las afectaciones son menores, pues solo 21 personas sufrirán quemaduras de primer grado. Por su parte en la Base en Tierra todos los trabajadores sufrirán quemaduras de primer grado y las muertes con y sin equipos de protección serán de 18 y 21 respectivamente.

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos para el turbocombustible. De manera similar a lo ocurrido con la gasolina de aviación los altos niveles de radiación a los que serían expuestos los trabajadores de la Base en Tierra, las oficinas y el muelle, sufrirían quemaduras mortales. Todo el personal de la Planta de Gas Licuado será afectado por quemaduras de primer grado, y las muertes con y sin equipos de protección pueden ser de 10 y 19 respectivamente. La Base de Crudo y Suministro, el laboratorio y el taller, por encontrarse dentro de la zona de la

bola de fuego, no se reportan en la tabla el número de afectaciones, pues perecerán todas las personas que se encuentren en estas zonas.

Tabla 3.9: afectaciones obtenidas por *Probit* para el escenario BLEVE para el turbocombustible.

Local afectado	Radiación (kW/m ²)	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (con ropas de protección)		Quemaduras mortales (sin protección)		Quemaduras de segundo grado		Quemaduras de primer grado	
		Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.
Planta de Gas Licuado	10,1	4,72	10	5,57	19	6,33	24	9,64	26
Base en Tierra	32,8	8,74	21	9,59	21	11,07	21	14,38	21
Área de oficinas	74,9	11,56	295	12,41	295	14,40	295	17,70	295
Muelle	56,7	10,61	49	11,46	49	13,28	49	16,58	49
Total			375		384		389		391

El análisis que a continuación se realiza es conveniente, teniendo en cuenta las características de la empresa, en la cual muchos trabajadores se desplazan constantemente y además resulta útil ante la confección de cualquier plan de protección o emergencia. Se muestra y comenta los valores de radiación mínima para los cuales las afectaciones son totales, así como la distancia a partir de la cual se generaliza este efecto.

Tabla 3.10: Distancias en las cuales las afectaciones son máximas para el BLEVE.

Afectación	Radiación (kW/m ²)	Distancia (m)	
		B-100	Jet A-1
Quemaduras mortales (con ropas de protección)	27.2	758	1 115
Quemaduras mortales (sin ropas de protección)	21.2	873	1 290
Quemaduras de segundo grado	15.7	1 030	1 520
Quemaduras de primer grado	6.9	1 566	2 322

Los resultados anteriores indican que para la gasolina de aviación, a 758 metros se alcanza la mínima radiación para la cual se producen el máximo de muertes por quemaduras, aun cuando el personal este provisto de vestiduras de protección; sin ellas morirán todos, si se encuentran a 873 metros. Todo el personal recibirá quemaduras de segundo grado si se encuentra a una distancia menor de 1 030 metros, lo mismo ocurre para las quemaduras de primer grado en distancias inferiores a 1 566 metros.

De igual manera se aprecia que a 1 115 metros se alcanza la mínima radiación, para la cual se producen el máximo de muertes por quemaduras, para el turbocombustible, en el caso de que el personal esté adecuadamente protegido; sin esta protección las muertes se pueden producir a una distancia mayor, a 1 290 metros. Todo el personal recibirá quemaduras de segundo grado si se encuentra a una distancia menor de 1 520 metros, lo mismo ocurre para las quemaduras de primer grado en distancias inferiores a 2 322 metros.

En el caso del BLEVE originado por el turbocombustible, las afectaciones también inciden en los concejos populares de Versailles, la Playa y Peñas Altas. La siguiente tabla muestra las afectaciones que ocurren en dichas localidades, en la

misma se aprecia que son ocasionadas por quemaduras de primer grado, que de forma general afectarán a 27 670 personas.

Tabla 3.11: Porcentaje de afectaciones obtenido por *Probit* para el escenario BLEVE para la gasolina de aviación.

Localidad afectada	Radiación (kW/m ²)	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (con ropas de protección)		Quemaduras mortales (sin protección)		Quemaduras de segundo grado		Quemaduras de primer grado	
		Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.	Valor Pr	No. afect.
Versalles	3,5	1,11	0	1,96	0	2,07	0	5,37	12 691
Playa	3	0,58	0	1,43	0	1,45	0	4,75	5 248
Peñas Altas	3	0,58	0	1,43	0	1,45	0	4,75	9 731
Total			0		0		0		27 670

3.4 Análisis del Impacto Económico.

El impacto económico ocasionado por un escenario de incendio o explosión abarca las pérdidas del valor de los equipos dañados, las pérdidas por concepto de producción interrumpida y las pérdidas por reposición de los equipos destruidos. En este trabajo se muestra un estimado de las pérdidas por reposición considerando, el criterio que sostiene Wells, (2003), respecto a los daños por sobrepresión y a López, (2017) respecto a la afectación por determinados niveles de radiación, reflejados en los anexos 10 y 11.

En cuanto al efecto de sobrepresión originado por la explosión de una nube de vapor de gasolina de aviación, sobre los tanques ubicados al ENE de la fuente, se puede observar en la figura 3.5 que solo afecta al TK14 de aguas oleosas, con una sobrepresión de 6.2 psi, en la cual ocurre la ruptura de los tanques y la destrucción completa de las estructuras cercanas según Wells (2003). De acuerdo

a lo anterior, se requiere la reposición total de este tanque, lo cual se traduce en un valor de \$ 795 708.

En la figura 3.7 se muestra el área generada por un escenario de BLEVE, que ocurre en el TK13 de 9 934 m³ de turbocombustible, que en este caso compromete seriamente a todas las instalaciones de la UEB, excluyendo a la Planta de Gas Licuado del Petróleo.

Para demostrar la magnitud de la afectación económica que este tipo de accidente provoca, el autor de esta investigación muestra en el anexo 12 el número de tanques y equipos destruidos de forma total bajo su efecto, así como los costos en que se debe incurrir para reponerlos. Los resultados que a continuación se muestran son un resumen del valor de reposición por área.

Tabla 3.12: Costo de reposición de los equipos dañados por un BLEVE de turbocombustible.

Área	Costo por reposición de equipos (\$)
Terminal-320	8 988 871
Bases de Crudo y Suministro	13 767 638
Base en Tierra	17 951 296
Total	40 707 804

La pérdida económica por equipos destruidos, debe esperarse que sea algo menor que el total anteriormente mostrado, pues debe descontarse el fondo de amortización acumulado por equipo; por otra parte, las pérdidas por interrupción de la producción deben ser calculadas en función de un nivel medio de ventas y ganancias y debe esperarse que sean altas, en dependencia del tiempo de interrupción. Si a estas pérdidas económicas se agregan otras afectaciones intangibles por daño al entorno, y finalmente, las ocurridas por pérdidas humanas, siempre imposibles de valorar, se alcanzará una idea de la importancia de disponer de resultados en esta línea de investigación, que hagan más adecuados

los planes de prevención y emergencias, ante este tipo de accidentes por derrame, logrando así, disminuir los riesgos en empresas de este tipo.

3.5 Conclusiones parciales.

1. Las mayores áreas de atmósferas peligrosas son generadas por el escenario BLEVE.
2. La Nube Tóxica es el segundo escenario de mayor magnitud, y en el caso de la gasolina de aviación, se afectan todas las áreas de la UEB menos la Planta de Gas Licuado, si la fuente es el TK18, en el resto de los tanques se afectan menos áreas.
3. Los locales interiores son afectados ligeramente, al no alcanzarse altos niveles de concentración de la sustancia tóxica, no así en los exteriores del laboratorio y el taller donde las afectaciones son más serias.
4. Los efectos de las nubes tóxicas no alcanzan las regiones de los Consejos Populares del municipio de Matanzas.
5. La explosión de una nube de vapor de la gasolina de aviación solamente puede afectar a las oficinas, el laboratorio y el taller.
6. El BLEVE ocasionado por el turbocombustible ,origina daños severos en toda la región donde está ubicada la UEB y daños menores en algunos Consejos Populares.
7. De todos los escenarios analizados por *Probit*, las mayores afectaciones son las que desencadena el BLEVE, en el caso del turbocombustible.
8. Las afectaciones económicas provocadas por la VCE son mucho menores que las ocasionadas por el BLEVE.

Conclusiones

- 1- Las técnicas empleadas para determinar las áreas de atmósferas peligrosas, en las direcciones donde existe mayor población y donde laboran los empleados de la UEB, permitieron evaluar la afectación social y económica generada por las mismas.
- 2- Se detectó la zona de afectación para los escenarios nube tóxica, nube explosiva y BLEVE siendo este último el que más afectaciones produce
- 3- La evaluación de los niveles de riesgo arroja los siguientes resultados:
 - La nube tóxica originada en la dirección WSW es la que provoca mayores afectaciones a los trabajadores de la UEB.
 - Las nubes tóxicas evaluadas en las direcciones de los Consejos Populares nunca alcanzan la región donde están ubicados los mismos.
 - Los locales interiores de las diferentes áreas no son seriamente afectados.
 - La mayores afectaciones como consecuencia de la explosión de una nube de vapor ocurren en el área de oficinas donde se alcanzan 6.36 psi de sobrepresión.
- 4- De todos los escenarios analizados por *Probit* las mayores afectaciones son las que desencadena el BLEVE del turbocombustible, ocasionando la muerte de 528 trabajadores de la UEB y quemaduras de primer grado a 27 670 personas del entorno poblacional.
- 5- Las mayores afectaciones económicas son las ocasionadas por un BLEVE de turbocombustible, cuyo monto por concepto de reposición de equipos asciende a \$ 40 707 804.

Recomendaciones

1. Informar y discutir los resultados de esta investigación con la dirección de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas para la elaboración de un plan de prevención y protección ante estos tipos de accidentes químicos.
2. Determinar las pérdidas económicas totales atendiendo a todos sus componentes.
3. Realizar las evaluaciones a partir de la versión más actualizada del *software* en otras plantas químicas del territorio, incluyendo el área de la Planta de Gas Licuado, perteneciente a esta UEB.

Bibliografía

1. ACHS (2010). Principales riesgos químicos. Higiene industrial. Chile. Asociación Chilena de Seguridad (ACHS) [en línea]. [Consulta: 19 enero 2019]. Disponible en: www.achs.cl/portal/trabajadores/Capacitacion
2. AESST (2017). OiRA: herramientas sencillas y gratuitas para facilitar la evaluación de riesgos. Agencia Europea para la Seguridad y la Salud en el Trabajo (AESST). [en línea]. [Consulta: 20 enero 2019]. Disponible en: <https://osha.europa.eu/es/tools-and-publications/oira>
3. Abbassi, T.; Pasman, H.J., Abbasi, S.A (2010). A scheme for the classification of explosions in the chemical process industry. Journal of Hazardous Materials. Vol. 174
4. Aguilar, J.; Bernaola, M.; Gálvez, V.; Ramos, P.; Sánchez, M.T.; Sousa, M.E.; Tanarro, C.; Tejedor, J.N. (2010). Riesgo químico: sistemática para la evaluación higiénica. Centro Nacional de Nuevas Tecnologías, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. ISBN: 978-84-7425-786-1. Madrid.
5. ARCOPOL. (2015). Manual de usuario ALOHA y MARPLOT .Editorial METEOGALICIA-UE. Galicia .España
6. Blengini, G.A.; Blagoeva, D.; Dewulf, J.; Torres de Matos, C.; Nita, V.; Vidal- Legaz, B.; Latunussa, C.E.L.; Kayam, Y.; Talens Peirò, L.; Baranzelli, C.; Manfredi, S.; Mancini L.; Nuss, P.; Marmier, A.; Alves-Dias; P., Pavel, C.; Tzimas, E.; Mathieux, F.; Pennington, D.; Ciupagea, C. (2017). *Assessment of the Methodology for Establishing the EU List of Critical Raw Materials*, Publications Office of the European Union, Luxemburg. 978-92-79-69612-1, DOI: 10.2760/73303, JRC106997.
7. Botta. N.A. 2012. Medición de explosividad. Red Proteger.
8. BP Oil (2018). Ficha de datos de seguridad. Combustible Jet A-1. Madrid .España.
9. Casal, J.; Montiel, H.; Planas E. y Vílchez J.A. (2002). Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales. Ediciones UPC, Barcelona.
10. Castro, D. y Acosta, G. (2014). Evaluación de atmosferas peligrosas en la planta ENERGAS S.A, de Varadero. Castro, D.; Castro, K. (2014). Evaluación de atmosferas peligrosas en la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas.

11. Castro, D.; Luis, J.D.; Curiel L.D. (2013). Evaluación de atmósferas peligrosas en la zona industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos. CD de Monografías 2013. [en línea]. [Consulta: 16 enero 2019]. Disponible en: <http://monografias.umcc.cu/monos/2013/Facultad de Ingenierías.pdf>
12. Colmenero, J. (2011). Incendios Industriales. [en línea]. [Consulta: 1 Noviembre 2018] Disponible en: <http://suite101.net/article/incendios-industriales-a67405>
13. Del Valle, V. (2012). Análisis de los planes de emergencia exterior de Arcelomittal Gijón y Repsol Butano Gijón S.A. Trabajo Fin de Master en Análisis y gestión de emergencia y desastre. Universidad de Oviedo.
14. Díaz, A. (2013). Análisis de riesgos en el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo en la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas (ECCM). Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas. Cuba.
15. Díaz-Ovalle, C.O.; Vázquez-Román, R.; Sam, M. (2009). Determination of the Factors for the Worst Scenario in Toxic Gas Release. Información Tecnológica. Vol. 20(1), 3-10. Texas. México.
16. Domínguez, J.R. (2014). Análisis Cuantitativo de Riesgos en el ámbito de la Protección Civil: aplicación a una instalación de almacenamiento de productos químicos. Trabajo Fin de Grado. Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Universidad de Sevilla. Sevilla. España.
17. EPA (2004). Guía del Usuario del Modelo SCREEN 3 U.S. Agencia de Protección Ambiental (EPA). [en línea]. [Consulta: 19 enero 2019] .Disponible en: www.epa.gov/ttn/catc/dir2/scrn3ds.pdf
18. ESMAX. (2018). Hoja de datos de seguridad. Combustible Jet A-1. Santiago. Chile.
19. Fabbri, L; Binda, M; Bruinen de Bruin, Y. (2017). *Accident Damage Analysis Module (ADAM) – Technical Guidance*, EUR 28732 EN, 2017, ISBN 978-92- 79-71879-3, DOI: 10.2760/719457
20. Fernández P.M 2008. Modelos de cálculos de efectos y análisis de consecuencias. Gestión medioambiental y técnica afines. EOI.

21. Ferrero, F. (2006). Incendios de hidrocarburos: estudio de la formación y evolución del *BOILOVER* de capa fina. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. España.
22. Foyo, M. (2015). Metodología para la gestión del conocimiento en riesgos y seguros en la actividad agropecuaria. La Habana. Editorial Universitaria. ISBN 959-16-2750-6.
23. Galán, S. (2012). Explosión de equipos a presión. Análisis de riesgos y consecuencias. Proyecto final de carrera para la obtención del título de Ingeniero Técnico Naval, especialidad en Propulsión y Servicios del Buque. Universidad Politécnica de Cataluña. España.
24. Guerra, R. M.; Meizoso, M. C.; Wong L. (2009). Gestión integrada de los riesgos químicos en el laboratorio. Memorias del Taller por el Día Mundial del Medio Ambiente. Universidad de La Habana. ISBN 978-959-16-1083-6
25. Gyenes, Z; Wood, M.; Struckl, M. (2017). Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks. EUR 28518 EN. DOI: 10.2760/884152.
26. Habib, Karim. (2015). SAPHEDRA - Building a European Platform for evaluation of consequence models dedicated to emerging risk. List of experimental campaigns and information available to be used to evaluate existing tools or new existing tools.
27. Hemmatian, B. (2016). Contribution to the study of Boiling Liquid Expanding Vapor Explosions and their mechanical effects. A Doctoral Thesis submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of Doctor of Philosophy in Chemical Engineering. Universitat Politècnica de Catalunya Barcelona, Catalonia, Spain
28. Hernández, M.C. (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 presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas. Cuba.
29. Hristov, J. (2016). An Inverse Stefan Problem Relevant to Boilover: Heat Balance Integral Solutions and Analysis. Bulgaria. [en línea]. [Consulta: 17 Enero 2019]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication>

30. Ilić, P.; Ilić, S.; Bjelić, L. S. (2018). Hazard modelling of accidental release chlorine gas using Modern tool-ALOHA software. Quality of life. Vol 9. DOI: 10.7251/QOL1801038I
31. Khan, F. I y Abbasi, S.A (1998) .Rapid quantitative risk assessment of a petrochemical using a new software package MAXCRED. Journal of Cleaner production 6 (1998) Vol. 9, n.22.
32. Khan, F. I. y Abbasi, S.A. (1999) Major accidents in process industries and an analysis of causes and consequences. [Journal of Loss Prevention in the Process Industries](#). . Vol. 12, n. 5.
33. López D.C. 2006. Análisis de riesgo tecnológico de la unidad de destilación de crudo U-200 asociado a los eventos amenazantes en la torre atmosférica T-201 de la gerencia del complejo Barrancabermeja-ECOPETROL S.A. Especialización en Ingeniería Ambiental. Bucaramanga.
34. López, I. (2010). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos. Trabajo de diploma presentado en opción al Título del Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas. Cuba.
35. López. (2017). Análisis cuantitativo de riesgos de tuberías de transporte de sustancias peligrosas. 107 h. Trabajo de fin de grado de Ingeniería Química. Barcelona .España.
36. Lugo, G. (2015). Riesgo Químico. Sus implicaciones en los incendios y las explosiones. Editorial Universitaria. La Habana. Cuba.
37. Manual de usuario del software ALOHA. (2016). [en línea]. [Consulta: 6 Febrero 2019] Disponible en: www.fiqm.umcc.cu.
38. Martínez J.J. (2016). Identificación, análisis y administración de riesgos. Soluciones Proactivas.
39. Mišić, N.; Zigar, D.; Božilov, A.; Pešić, D. (2018). Calculation of thermal radiation level during a pool fire caused by leakage of kerosene from tanker Wagon at railway crossings. Safety Engineering Series. Vol. XIII, n. 1.
40. Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.

41. Nwabueze, D. (2016). Liquid hydrocarbon storage tank fires- How prepared is your facility? *Chemical Engineering Transactions* [en línea]. Vol. 48, p 301-306. [Consulta: 2 noviembre 2018]. DOI: 10.3303/CET1648051. Disponible en: www.aidic.it/cet.
42. Okoh, P. y Haugen, S. (2013). The Influence of Maintenance on Some Selected Major. *Chemical Engineering Transactions*. [en línea]. Vol. 31. [Consulta 24 enero 2019]. ISBN 978-88-95608-22-8. ISSN 1974-9791 DOI:10.3303/CET1331083. Disponible en: <https://www.aidic.it/cet/13/31/083.pdf>
43. Orozco, J. L. (2018). Guía para la caracterización de las sustancias. Disponible en: Departamento de Química. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de Matanzas sede Camilo Cienfuegos.
44. Orosco, J.L.; Van Caneghem, J.; Hens, L.; González, L.; Lugo, R.; Díaz, S.; Pedroso, I. (2019). Assessment of an ammonia incident in the industrial area of Matanzas. *Journal of Cleaner Production*. [en línea]. Vol. 222. [citado 24 febrero 2019]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.024>.
45. Pastrana, J. (2014). La metodología HAZOP aplicada al análisis de riesgos. Tesis para obtener el título de Ingeniero Petrolero. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
46. Peng, J.; Song, Y.; Yuan, P.; Xiao, S.; Han, L. (2013). An novel identification method of the environmental risk sources for surface water pollution accidents in chemical industrial parks. *Journal of Environmental Sciences* Vol.25, n.7. [en línea]. [Consulta: 17 enero 2019]. DOI: 10.1016/S1001-0742(12)60187-9. Disponible en: www.sciencedirect.com.
47. Pessanha, G. C. (2015). Análise experimental do fenômeno de boilover em hidrocarbonetos. Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Brasil.
48. PNUMA/IPCS. (1990). Control de riesgos de accidentes mayores. Manual práctico. 2da ed. Ginebra: Ediciones de Oficina Internacional de Trabajo.
49. PNUMA/IPCS. (1999). *Evaluación de riesgos químicos. Programa de las Naciones Unidas*.

50. Remer, D.S. y Idrovo, J.H. (1990). Cost Estimating Factors for Biopharmaceutical Process Equipment, BioPharm. 36-42 p.
51. Renjith V.R. (2010) .Consequence modelling, vulnerability assessment and fuzzy fault tree analysis of hazardous storages. Thesis submitted to the Cochin University of Science and Technology for the award of the degree of Doctor of Philosophy. Division of safety and fire engineering School of Engineering Cochin university of Science and Technology .KOCHI-682 022, KERALA, INDIA.
52. REPSOL (2016). Ficha de datos de seguridad. Combustible Jet A-1. Refinería la pampilla, S.A.A. Lima.Peru.
53. Rodríguez, J. L.; Angulo, L. C.; Restrepo, G. M.; Rojano, R. (2014).Evaluation of the models CALMET y CALPUFF in two sites topographically different in the coal mining zone of department of Cesar, Colombia. First International Conference on Atmospheric Dust-DUST2014.ProScience.Vol 1. [en línea]. [Consulta: 23 enero 2019].Disponible en <http://www.scientevents.com/proscience/>
54. Rosero, José Amable. (2015). Identificación y evaluación de riesgo de incendio y explosión en el área de almacenamiento de productos limpios, tanque 1020, simulación de efectos en caso de emergencia. Trabajo realizado como requisito para la obtención del título de Ingeniero en Seguridad y Salud Ocupacional. Quito. Ecuador.
55. Santos, G.C. (2010). Análisis del riesgo individual: caso de explosión de un ducto de gas natural. Tesis para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Ingeniería de Sistemas. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Ciudad de México
56. Shell, (1999). Ficha de datos de seguridad. Combustible AVGAS 100. Madrid. España. Primera Edición. Ref.: FDS-12SP
57. SHOUGESA (2013). Estudio de riesgo Central Térmica San Nicolás. Shougang Generación Eléctrica S.A. Perú.
58. Soler, J. A. (2013). CALAMEO. [en línea]. [Consulta 9 noviembre 2018]. Disponible en: <http://es.calameo.com/read/00213957548222b9e572b>
59. Vázquez-Román, R., Lee, J.H.; Jung, S. ; Mannan, S. (2009). Optimal facility Layout under toxic release in existing plants, Computers & Chemical Engineering: Manuscrito enviado, por confirmar aceptación.

60. Wehmeier, G. y Mitropetros, K. (2016). Fire Protection in the Chemistry Industry. Chemical Engineering Transactions [en línea]. Vol. 48, p 259-264. [Consulta 23 de enero 2019]. DOI: 10.3303/CET1648044. Disponible en: www.aidic.it/cet.
61. Zambrano, S; Tarantino, R; Aranguren, S.; Agudelo, C. (2012). Critical failure identification methodology in industrial Processes based on operational reliability techniques. Revista Colombiana de Tecnologías de Avanzada. Vol. 2, n. 20.

Anexos

Anexo 1: Áreas operacionales de la UEB.



Leyenda:

1. Planta de Gas Licuado.
2. Bases de Crudo y Suministros.
3. Base en Tierra.
4. Área de oficinas.
5. Laboratorio y taller.
6. Muelle.

Anexo 2: Caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

Anexo 2a Caracterización de la gasolina de aviación (B-100).

Identificación del producto.

- ✓ Nombre del producto: Gasolina de aviación (B-100).
- ✓ Fórmula Química: Tienen componentes hidrocarbonados de C₄ a C₁₀. Los principales componentes que presenta son un amplio grupo de compuestos hidrocarbonados, cuyas cadenas contienen hasta 10 átomos de carbono, casi todos los compuestos hidrocarbonados que sean teóricamente posibles, como parafinas, ciclo parafinas, nafténicos (CH₂)_N, ciclohexánica, ciclos bencénicos,..., al menos en pequeños porcentajes.
- ✓ Etiquetado de peligro (frases R y S). Ver anexo 2c.

R2/R3/R5/R7/R11/R16/R18/R20/R21/R22/R23/R24/R25/R33/R36/R37/R44/ R54/R55.

Datos físicos.

- ✓ Apariencia: sustancia muy volátil, de color verde-azul, tóxico, claro y brillante.
- ✓ Punto de ebullición inicial: 30 °C.
- ✓ Punto de ebullición final: 170 °C.
- ✓ Punto de fusión:-40 °C.
- ✓ Solubilidad: soluble en solventes orgánico, como xileno, tolueno, nafta, insoluble en agua.
- ✓ Densidad: 690-735 kg/m³ a 15 °C.
- ✓ TLV (límite superior de inflamabilidad):7,8 en aire % de volumen
- ✓ IPVS (límite inferior de explosividad):1,4 en aire % de volumen.
- ✓ Punto de congelación: -129,7 °C.
- ✓ Temperatura de autoignición: 250- 458 °C.
- ✓ Coeficiente de expansión: No disponible.

- ✓ Temperatura de inflamación: entre 95 y > 100 °C.
- ✓ Energía mínima de ignición: No disponible.
- ✓ Biodegradabilidad: No disponible.
- ✓ Corrosión: Con respecto a los derivados del petróleo, la acción corrosiva es ejercida, tanto por la humedad como por cualquier otro agente (impurezas) presente en el producto, capaces de reaccionar químicamente con los metales en contacto.
- ✓ Capacidad calorífica: > 43,5 MJ/kg.

Peligros para la salud.

- ✓ Concentración permisible: 2000 mg/m³.
- ✓ Exposición permisible: 500 ppm.
- ✓ Partes del cuerpo que afecta: Exposiciones prolongadas a los vapores cuya concentración esté por encima del límite de exposición laboral recomendado puede producir: reducción del razonamiento, dolor de cabeza, vértigo, náuseas, irritación de los ojos y de las vías respiratorias, irregularidades cardíacas, convulsiones, asfixia, inconsciencia e incluso la muerte. Salpicaduras en los ojos pueden ocasionar irritación transitoria. Por ingestión puede producir irritación de las vías digestivas, diarrea y vómitos. La aspiración por los pulmones puede producirse directamente o como consecuencia de la ingestión del producto. Esto originaría neumonía química que puede ser mortal.
- ✓ Forma de entrada al organismo: Vías respiratorias, por contacto e ingestión.
- ✓ Toxicidad.

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR
Gasolina de aviación	x	O,P,R	x				x	

Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- ✓ Nombre del producto almacenado: Gasolina de aviación (B-100).
- ✓ Forma del recipiente: cilíndrico, ubicado en posición vertical.
- ✓ Dimensiones del recipiente:
 - Tanque 18: diámetro: 15.5 m y altura operacional: 12 m.
 - Tanque 19: diámetro: 10.2 m y altura operacional: 9 m.
 - Tanque 20: diámetro: 6 m y altura operacional: 6,6 m.
 - Tanque 21: diámetro: 8 m y altura operacional: 6,62 m.
 - Tanque 74: diámetro: 15.5 m y altura operacional: 6,62 m.
- ✓ Material de construcción: acero al carbono, con un espesor de 11–17mm.
- ✓ Protección del recipiente (interior o exterior): la protección está basada en las normas ISO 12944-1, ISO 12944-3, ISO 12944-5 y la ISO 12944-8, de la cual se aplica un sistema de pintura para la protección del mismo.
- ✓ Condiciones de almacenamiento de la sustancia: presión atmosférica y temperatura ambiente.
- ✓ Características de los alrededores del recipiente: Libre de hierba, de materia inflamable, rodeado por cubetos, los cuales deben tener buen drenaje.

Condiciones para su uso en el proceso.

- ✓ Uso en el proceso: Para elaborar mezclas de combustibles
- ✓ Condiciones en las que se usa la sustancia: presión atmosférica y temperatura ambiente.
- ✓ Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: Salideros por juntas.
- ✓ Material de construcción de los equipos donde es usada: Acero al carbono.
- ✓ Protección del sistema de tuberías: Pintura impermeabilizante según las normas y protección catódica.

Anexo 2b: Caracterización del turbocombustible

Identificación del producto.

- Nombre del producto: Turbocombustible (JET-A1).
- Fórmula Química: Mezcla de hidrocarburos parafínicos, olefínicos, ciclo parafínicos y aromáticos; contiene un número de carbono entre C₉ a C₁₆.
- Etiquetado de peligro (frases R y S). Ver anexo 2c.
R2/R5/R7/R11/R18/R20/R21/R22/R23/R24/R25/R36/R37/R38/R42/R43/R44/R48
/R50/R51/R52/R53/R54/R55/R56/R58.
S2/S3/S4/S5/S9/S15/S16/S21/S23/S24/S25/S26/S28/S33/S37/S38/S39/S41/
S44/S46/S61/S62.

Datos físicos.

- Apariencia: Líquido transparente, incoloro a amarillo claro.
- Punto de ebullición: > 200°C (392°F).
- Punto de fusión: -47°C (-52,6°F)
- Solubilidad en agua a 20 °C: Insignificante.
- Densidad (15°C): 0.75-0.8 g/cm³.
- T L V -límite superior de inflamabilidad: 5%.
- IPVS - Límite inferior de explosividad: 0.7%.
- Temperatura de autoignición: 250°C (482°F).
- Coeficiente de expansión: No disponible.
- Temperatura de inflamación: > 38°C (100°F)
- Energía mínima de ignición: No disponible.
- Presión de vapor: (25°C)<1mmHg(<0.133kPa)
- Biodegradabilidad: No disponible.
- Corrosión: Con respecto a los derivados del petróleo, la acción corrosiva es ejercida, tanto por la humedad como por cualquier otro agente (impurezas) presente en el producto, capaces de reaccionar químicamente con los metales en contacto.
- Capacidad calorífica: No disponible.

Formas de control y mitigación en casos de desastres.

- Mantener ventilado el lugar de trabajo.
- En casos necesarios, utilizar protección respiratoria para vapores orgánicos.
- Si ocurren grandes liberaciones, utilizar equipos de respiración autónoma.
- Usar gafas de seguridad y ropa de trabajo resistentes a productos químicos.
- Existen sistemas de enfriamiento en cada uno de los tanques de almacenamiento.

Peligros para la salud.

- Concentración permisible.
- Exposición permisible.
- Emergencias.
- Incendios: se liberan gases vapores y gases irritantes como monóxido de carbono, aldehídos, óxidos de azufre y otras sustancias.
- Derrames.
 - Partes del cuerpo que afecta.

La inhalación pueden causar irritación de la nariz y tracto respiratorio, dolor de cabeza, depresión, debilidad, inquietud, arresto respiratorio. La aspiración puede resultar en taquicardia, respiración acelerada, edema pulmonar, neumonía, hemorragia y asfixia. La respiración de altas concentraciones puede causar mareos, aturdimiento, dolor de cabeza, náuseas y pérdida de coordinación. La inhalación continua puede resultar en inconsciencia. El contacto, de los ojos, con el líquido o vapores concentrados puede provocar irritación o conjuntivitis. El contacto con la piel, puede provocar irritación y desecamiento.
 - Forma de entrada al organismo.

Por inhalación, ingestión, contacto con la piel y los ojos.

- Toxicidad.

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR
Turbocombustible (Jet A-1)	X	O,P,R	X			X	X	

Datos de reactividad.

- Contaminantes producidos.
- Tóxico débil para los organismos acuáticos.
- Grandes volúmenes de producto pueden penetrar en el suelo y contaminar las aguas subterráneas.
- No fácilmente biodegradable.
- Posee potencial bioacumulativo.
- Persiste en condiciones anaeróbicas.

Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- Nombre del producto almacenado: Turbocombustible (Jet A-1).
- Forma del recipiente: cilíndrico, ubicado en posición vertical.
- Dimensiones del recipiente:
Tanque 13: diámetro de 36,5 m y altura operacional de 9,6 m.
Tanque 22 y 23: diámetro 34,2 m y altura operacional de 10,6 m.
- Material de construcción: acero al carbono, con un espesor de 10 a 12 mm.
- Protección del recipiente (interior o exterior): la protección está basada en las normas ISO 12944-1, ISO 12944-3, ISO 12944-5 y la ISO 12944 8, de la cual se aplica un sistema de pintura impermeabilizante para la protección del mismo, además de protección catódica en el fondo del tanque.
- Condiciones de almacenamiento de la sustancia: presión atmosférica y temperatura ambiente.
- Características de los alrededores del recipiente: Libre de hierba, de materia inflamable, rodeado por cubeto, los cuales deben tener buen drenaje.

Condiciones para su uso en el proceso.

- Uso en el proceso: recepción, almacenamiento y entrega.
- Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura): presión atmosférica y temperatura ambiente.
- Material de construcción de los equipos donde es usada: acero al carbono.
- Protección del sistema de tuberías: Pintura impermeabilizante según las normas y protección catódica.

Anexo 2c: Clasificación y simbología para las sustancias (R y S).

R 1 Explosivo en estado seco.

R 2 Riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.

R 3 Alto riesgo de explosión por choque, fricción, fuego u otras fuentes de ignición.

R 4 Forma compuestos metálicos explosivos muy sensibles.

R 5 Peligro de explosión en caso de calentamiento.

R 6 Peligro de explosión, en contacto o sin contacto con el aire.

R 7 Puede provocar incendios.

R 8 Peligro de fuego en contacto con materias combustibles.

R 9 Peligro de explosión al mezclar con materias combustibles.

R 10 Inflamable.

R 11 Fácilmente Inflamable.

R 12 Extremadamente inflamable.

R 14 Reacciona violentamente con el agua.

R 15 Reacciona con el agua liberando gases extremadamente inflamables.

R 16 Puede explosionar en mezcla con sustancias comburentes.

R 17 Se inflama espontáneamente en contacto con el aire.

R 18 Al usarlo pueden formarse mezclas aire-vapor explosivas / inflamables.

R 19 Puede formar peróxidos explosivos.

R 20 Nocivo por inhalación.

R 21 Nocivo en contacto con la piel.

R 22 Nocivo por ingestión.

- R 23** Tóxico por inhalación.
- R 24** Tóxico en contacto con la piel.
- R 25** Tóxico por ingestión.
- R 26** Muy tóxico por inhalación.
- R 27** Muy tóxico en contacto con la piel.
- R 28** Muy tóxico por ingestión.
- R 29** En contacto con agua libera gases tóxicos.
- R 30** Puede inflamarse fácilmente al usarlo.
- R 31** En contacto con ácidos libera gases tóxicos.
- R 32** En contacto con ácidos libera gases muy tóxicos.
- R 33** Peligro de efectos acumulativos.
- R 34** Provoca quemaduras.
- R 35** Provoca quemaduras graves.
- R 36** Irrita los ojos.
- R 37** Irrita las vías respiratorias.
- R 38** Irrita la piel.
- R 39** Peligro de efectos irreversibles muy graves.
- R 40** Posibilidad de efectos irreversibles.
- R 41** Riesgo de lesiones oculares graves.
- R 42** Posibilidad de sensibilización por inhalación.
- R 43** Posibilidad de sensibilización en contacto con la piel.
- R 44** Riesgo de explosión al calentarlo en ambiente confinado.
- R 45** Puede causar cáncer.
- R 46** Puede causar alteraciones genéticas hereditarias.
- R 48** Riesgo de efectos graves para la salud en caso de exposición prolongada.
- R 49** Puede causar cáncer por inhalación.
- R 50** Muy tóxico para los organismos acuáticos.
- R 51** Tóxico para los organismos acuáticos.
- R 52** Nocivo para los organismos acuáticos.
- R 53** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.
- R 54** Tóxico para la flora.

- R 55** Tóxico para la fauna.
- R 56** Tóxico para los organismos del suelo.
- R 57** Tóxico para las abejas.
- R 58** Puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente.
- R 59** Peligroso para la capa de ozono.
- R 60** Puede perjudicar la fertilidad.
- R 61** Riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R 62** Posible riesgo de perjudicar la fertilidad.
- R 63** Posible riesgo durante el embarazo de efectos adversos para el feto.
- R 64** Puede perjudicar a los niños alimentados con leche materna.
- R 65** Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar.
- R 66** La exposición repetida puede provocar sequedad o agrietamiento de la piel.
- R 67** La inhalación de vapores puede provocar somnolencia y mareo.

Consejos de prudencia relativos a las sustancias y preparados peligrosos (Frases S).

- S1** Consérvese bajo llave.
- S2** Manténgase fuera del alcance de los niños.
- S3** Consérvese en lugar fresco.
- S4** Manténgase lejos de locales habitados.
- S5** Consérvese en... (Líquido apropiado a especificar por el fabricante).
- S6** Consérvese en... (Gas a especificar por el fabricante).
- S7** Manténgase el recipiente bien cerrado.
- S8** Manténgase el recipiente en lugar seco.
- S9** Consérvese el recipiente en lugar bien ventilado.
- S12** No cerrar el recipiente herméticamente.
- S13** Manténgase lejos de alimentos, bebidas y piensos.
- S14** Consérvese lejos de... (Materiales incompatibles a especificar por el fabricante).
- S15** Conservar alejado del calor.
- S16** Conservar alejado de toda llama o fuente de chispas - No fumar.
- S17** Manténgase lejos de materias combustibles.
- S18** Manipúlese y ábrase el recipiente con prudencia.

- S20** No comer ni beber durante su utilización.
- S21** No fumar durante su utilización.
- S22** No respirar el polvo.
- S23** No respirar los gases/humos/vapores/aerosoles [denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante].
- S24** Evítese el contacto con la piel.
- S25** Evítese el contacto con los ojos.
- S26** En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acúdase a un médico.
- S27** Quítese inmediatamente la ropa manchada o salpicada.
- S28** En caso de contacto con la piel, lávese inmediata y abundantemente con (productos a especificar por el fabricante).
- S29** No tirar los residuos por el desagüe.
- S30** No echar jamás agua a este producto.
- S33** Evítese la acumulación de cargas electroestáticas.
- S35** Elimínense los residuos del producto y sus recipientes con todas las precauciones posibles.
- S36** Úsese indumentaria protectora adecuada.
- S37** Úsense guantes adecuados.
- S38** En caso de ventilación insuficiente, úsese quipo respiratorio adecuado
- S39** Úsese protección para los ojos/la cara.
- S40** Para limpiar el suelo y los objetos contaminados por este producto, úsese (a especificar por el fabricante).
- S41** En caso de incendio y/o de explosión no respire los humos.
- S42** Durante las fumigaciones/pulverizaciones, úsese equipo respiratorio adecuado [denominación(es) adecuada(s) a especificar por el fabricante].
- S43** En caso de incendio, utilizar... (Los medios de extinción los debe especificar el fabricante). (Si el agua aumenta el riesgo, se deberá añadir: "No usar nunca agua").
- S45** En caso de accidente o malestar, acúdase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).

S46 En caso de ingestión, acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.

S47 Consérvese a una temperatura no superior a...0C (a especificar por el fabricante).

S48 Consérvese húmedo con... (Medio apropiado a especificar por el fabricante).

S49 Consérvese únicamente en el recipiente de origen.

S50 No mezclar con... (A especificar por el fabricante).

S51 Úsese únicamente en lugares bien ventilados.

S52 No usar sobre grandes superficies en locales habitados.

S53 Evítese la exposición - recábense instrucciones especiales antes del uso.

S56 Elimínese esta sustancia y su recipiente en un punto de recogida pública de residuos especiales o peligrosos.

S57 Utilícese en envase de seguridad adecuado para evitar la contaminación del medio ambiente.

S59 Remitirse al fabricante o proveedor para obtener información sobre su recuperación/reciclado.

S60 Elimínese el producto y su recipiente como residuos peligrosos.

S61 Evítese su liberación al medio ambiente. Recábense instrucciones específicas de la ficha de datos de seguridad.

S62 En caso de ingestión no provocar el vómito: acúdase inmediatamente al médico y muéstresele la etiqueta o el envase.

S63 En caso de accidente por inhalación, transporte a la persona afectada al aire libre y manténgala en reposo.

S64 En caso de ingestión, enjuáguese la boca con agua (sólo si la persona está consciente).

Anexo 3: 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 4 Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio en la década 2000-2009.

Tabla 4a. Comportamiento de los valores medio de la **nubosidad** para el periodo estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	5	4	4	3	3	4	5	4	5	5	4	3
2001	4	4	4	3	3	5	4	4	3	5	4	4
2002	4	3	4	4	3	4	5	5	5	4	4	5
2003	4	5	4	3	4	5	5	4	5	3	5	4
2004	3	5	5	4	5	5	5	5	4	3	5	4
2005	5	4	5	3	4	5	4	5	4	5	5	4
2006	5	4	4	3	4	5	5	5	4	4	5	3
2007	4	5	4	3	5	3	5	4	5	4	4	5
2008	3	3	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4
2009	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4
Media	4	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	4
coef.variac	17.996	17.996	13.84	15.188	21.35	15.713	10.277	15.89	15.89	18.781	11.712	16.666
desv.estan	0.737	0.737	0.567	0.516	0.875	0.707	0.483	0.699	0.699	0.788	0.527	0.666

Anexo 4. Continuación.

Tabla 4b Comportamiento de los valores medio de la **temperatura máxima** para el periodo estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	26	25.7	28	29.6	30.5	30.4	31.3	31.2	30.7	29.2	27.2	26.4
2001	27	26.8	27.5	28.7	30.9	29.7	31.9	30.9	31.6	29	26.5	26.6
2002	26.5	25.7	28	29.9	29.7	30.7	30.8	31.9	30.8	28.5	27.2	26.5
2003	25.4	25.9	28.4	30.3	30.5	30.8	31.9	31.8	29.5	28.8	27.6	27.4
2004	25.5	26.5	28.2	29.3	31.8	29.5	31.5	30.9	30.7	29.5	27.9	27.3
2005	26.7	25.8	28.8	30.9	30.8	31.8	30.9	31.8	31.7	30.5	26.6	25.8
2006	25	27	28.4	28.9	30.9	31.5	31.8	30.9	29.9	30.6	27.5	26.9
2007	26.6	24.5	28	29.2	31.6	29.9	31.6	30.9	30.9	29.8	28.8	27
2008	25.9	25.9	28.1	29.8	30.9	30.5	30.9	30.8	31.9	29.5	26	26.5
2009	26.9	25.4	28.6	30.5	31.8	30.6	31.7	31.9	30.5	30	27.9	25
Media	26.15	25.92	28.2	29.71	30.94	30.54	31.43	31.3	30.82	29.54	27.32	26.54
coef.variac	2.6448	2.7808	1.3056	2.3929	2.1177	2.3972	1.3668	1.5506	2.4842	2.3572	2.9726	2.6949
desv.estand	0.6916	0.7208	0.3681	0.7109	0.6552	0.7321	0.4295	0.4853	0.7656	0.6963	0.8121	0.7152

Anexo 4. Continuación.

Tabla 4c Comportamiento de los valores medio de la temperatura media para el periodo estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	20.7	20.6	22.6	24.3	25.5	25.8	26.4	26.2	25.6	24.7	22.8	21.3
2001	22.6	21.7	23	25.4	25.8	28	27.4	25	24.8	24.6	22.8	22.7
2002	19.8	19.6	24	25.6	26.6	24.5	27	26.6	26.4	23.5	19.8	20.8
2003	20.1	20.2	22.8	24.9	26.4	24.9	26	25.9	26.6	23.8	22	21.5
2004	19.9	21.2	19.8	22.6	24.8	25.4	26.6	26.9	25.8	25.7	23.8	20.8
2005	19.8	19.7	23.8	25.7	24.3	25.8	25.8	26.7	24.6	25.7	24	19.8
2006	21.2	20.5	22	22.8	26.8	26.5	26.2	25.5	26.8	25.6	23.5	22.6
2007	20.8	21	24.1	23.5	23.9	24.2	25	25.4	23.9	24.9	23.6	19.9
2008	22.4	21.4	19.9	24.6	24.9	25.7	26	26.5	24.9	23.8	20.9	21.6
2009	18.8	19.9	23.6	22.9	25.5	26.8	27	27	25.7	23.9	24.1	20.9
media	20.6	20.5	22.5	24.2	25.4	25.7	26.3	26.1	25.5	24.6	22.7	21.2
coef.variac	5.8109	3.5618	6.9811	4.9603	3.8464	4.3965	2.6557	2.6354	3.7117	3.4507	6.3009	4.5940
desv.estand	1.1361	0.6958	1.4942	1.1402	0.9288	1.0745	0.6637	0.6546	0.8982	0.806	1.3587	0.9235

Anexo 4. Continuación.

Tabla 4d Comportamiento de los valores medio de la **temperatura mínima** para el periodo estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	15.6	15.5	17	18.5	20.6	21.7	21.8	21.7	21.6	20.7	18.6	16.5
2001	16.2	16.2	16.8	18.4	19.5	22.2	23.5	22.5	21.8	19.3	18.7	16.6
2002	16.1	16.1	18.5	18.5	21.3	22.5	22.5	21.7	21.6	21.3	18.4	17.2
2003	15.8	15.5	17	18.5	20.1	21.6	23.1	20.8	21.7	20.1	19.5	16.5
2004	15.9	15.4	16.6	19.5	20.3	21.7	20.9	21.9	20.8	20.5	19.3	15.8
2005	15.3	14.8	17.3	17.8	21.7	20.9	21.7	22	22.5	21.5	17.6	15.9
2006	14.9	15.4	16.8	17.9	19.8	20.8	20.8	22.8	21.9	20.9	18.5	17.2
2007	15.6	15.9	17.1	18.9	21.6	22.8	21	20.9	20.9	21.4	18.9	16.6
2008	15.8	16	17.5	19.2	21.5	21.9	21.9	21.6	22.5	21.7	19.5	16.7
2009	16	15.2	16.9	18.8	20.5	22	22	22.2	21.8	20.6	18.2	17
media	15.7	15.6	17.1	18.6	20.7	21.8	21.9	21.8	21.7	20.8	18.7	16.6
coef.variac	2.487	2.834	3.149	2.833	3.822	2.887	4.146	2.887	2.573	3.511	3.222	2.868
desv.estand	0.391	0.4422	0.5400	0.5270	0.790	0.6297	0.9089	0.6297	0.5586	0.7302	0.6033	0.4760

Anexo 4. Continuación.

Tabla 4e Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa para el periodo estudiado.

AÑO/MES	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2000	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
2001	79	74	74	74	77	84	79	83	83	84	82	78
2002	78	76	74	72	78	83	80	81	83	83	81	80
2003	79	74	75	74	79	82	83	83	84	84	82	79
2004	77	75	73	73	77	82	81	83	85	85	81	78
2005	78	75	74	73	78	84	82	82	83	83	83	80
2006	78	76	75	72	79	83	81	81	84	83	80	80
2007	78	75	73	74	79	83	82	82	84	85	79	78
2008	76	74	73	72	78	82	81	81	85	85	80	79
2009	79	76	75	73	77	84	80	82	85	84	81	79
Media	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
coef.variac	1.2087	1.0886	1.1033	1.1184	1.0467	0.9837	1.4255	0.9957	0.972	0.972	1.4255	1.0335
desv.estand	0.9448	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	0.8164	1.1547	0.8164	0.8164	0.8164	1.1547	0.8164

Anexo 4. Continuación.

Tabla 4f Comportamiento de los valores medio de la velocidad y frecuencia de ocurrencia de los vientos para la década 2000 - 2009.

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

Anexo 5: Resultados del *software* ALOHA respecto a los locales de la planta.

Anexo 5a: Dimensiones de la nube tóxica de la gasolina de aviación (B-100).

TK 18	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	548
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	352
Base en Tierra	SW	2,42	1040	756
Área de oficinas	WSW	2,33	449	778
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	778
Muelle	WNW	3,33	609	625

TK 18	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	603
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	422
Base en Tierra	SW	2,42	1040	916
Área de oficinas	WSW	2,33	449	941
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	941
Muelle	WNW	3,33	609	688

TK 18	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	631
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	488
Base en Tierra	SW	2,42	1040	1100
Área de oficinas	WSW	2,33	449	1100
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	1100
Muelle	WNW	3,33	609	716

TK-18	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	604
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	469
Base en Tierra	SW	2,42	1040	1000
Área de oficinas	WSW	2,33	449	1000
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	1000
Muelle	WNW	3,33	609	687

TK-19	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	372
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	177
Base en Tierra	SW	2,42	1060	372
Área de oficinas	WSW	2,33	449	382
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	382
Muelle	WNW	3,33	597	423

TK-19	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	397
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	239
Base en Tierra	SW	2,42	1060	493
Área de oficinas	WSW	2,33	449	512
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	512
Muelle	WNW	3,33	597	449

TK-19		Octubre		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	372
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	208
Base en Tierra	SW	2,42	1060	431
Área de oficinas	WSW	2,33	449	441
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	441
Muelle	WNW	3,33	597	422

TK-20		Enero		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	233
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	174
Base en Tierra	SW	2,42	1080	369
Área de oficinas	WSW	2,33	480	379
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	379
Muelle	WNW	3,33	620	257

TK-20		Abril		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	302
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	177
Base en Tierra	SW	2,42	1080	372
Área de oficinas	WSW	2,33	480	382
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	382
Muelle	WNW	3,33	620	336

TK-20	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	330
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	179
Base en Tierra	SW	2,42	1080	374
Área de oficinas	WSW	2,33	480	384
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	384
Muelle	WNW	3,33	620	370

TK-21	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	420
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	316
Base en Tierra	SW	2,42	1060	643
Área de oficinas	WSW	2,33	470	661
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	661
Muelle	WNW	3,33	630	478

TK-21	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	437
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	354
Base en Tierra	SW	2,42	1060	738
Área de oficinas	WSW	2,33	470	758
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	758
Muelle	WNW	3,33	630	496

TK-21		Octubre		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	420
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	343
Base en Tierra	SW	2,42	1060	708
Área de oficinas	WSW	2,33	470	729
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	729
Muelle	WNW	3,33	630	477

TK-74		Enero		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	418
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	276
Base en Tierra	SW	2,42	1110	614
Área de oficinas	WSW	2,33	520	630
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	630
Muelle	WNW	3,33	650	475

TK-74		Abril		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	458
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	327
Base en Tierra	SW	2,42	1110	729
Área de oficinas	WSW	2,33	520	749
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	749
Muelle	WNW	3,33	650	521

TK-74		Julio		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	478
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	375
Base en Tierra	SW	2,42	1110	802
Área de oficinas	WSW	2,33	520	825
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	825
Muelle	WNW	3,33	650	542

TK-74		Octubre		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	459
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	361
Base en Tierra	SW	2,42	1110	769
Área de oficinas	WSW	2,33	520	791
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	791
Muelle	WNW	3,33	650	520

Anexo 5b: Dimensiones de la nube tóxica del turbocombustible (Jet A-1).

TK-13		Enero		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión (m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2000	98
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	250	-
Base en Tierra	SW	2,42	1050	88
Área de oficinas	WSW	2,33	520	88
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	88
Muelle	WNW	3,33	690	99

TK-13	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2000	114
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	250	-
Base en Tierra	SW	2,42	1050	98
Área de oficinas	WSW	2,33	520	98
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	98
Muelle	WNW	3,33	690	114

TK-13	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2000	121
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	250	-
Base en Tierra	SW	2,42	1050	108
Área de oficinas	WSW	2,33	520	109
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	109
Muelle	WNW	3,33	690	121

TK-13	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2000	112
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	250	-
Base en Tierra	SW	2,42	1050	105
Área de oficinas	WSW	2,33	520	105
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	105
Muelle	WNW	3,33	690	112

Anexo 5c: Dimensiones de la nube explosiva de la gasolina de aviación (B-100)

TK 18	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	345
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	222
Base en Tierra	SW	2,42	1040	470
Área de oficinas	WSW	2,33	449	493
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	493
Muelle	WNW	3,33	609	417

TK-18	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	379
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	275
Base en Tierra	SW	2,42	1040	569
Área de oficinas	WSW	2,33	449	583
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	583
Muelle	WNW	3,33	609	452

TK-18	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	394
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	310
Base en Tierra	SW	2,42	1040	648
Área de oficinas	WSW	2,33	449	666
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	666
Muelle	WNW	3,33	609	468

TK-18	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	377
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	331	299
Base en Tierra	SW	2,42	1040	627
Área de oficinas	WSW	2,33	449	640
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	374	640
Muelle	WNW	3,33	609	451

TK-19	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	203
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	113
Base en Tierra	SW	2,42	1060	238
Área de oficinas	WSW	2,33	449	242
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	242
Muelle	WNW	3,33	597	241

TK-19	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	237
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	116
Base en Tierra	SW	2,42	1060	239
Área de oficinas	WSW	2,33	449	241
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	241
Muelle	WNW	3,33	597	279

TK-19		Julio		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	264
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	157
Base en Tierra	SW	2,42	1060	308
Área de oficinas	WSW	2,33	449	319
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	319
Muelle	WNW	3,33	597	295

TK-19		Octubre		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2060	234
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	340	138
Base en Tierra	SW	2,42	1060	272
Área de oficinas	WSW	2,33	449	278
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	390	278
Muelle	WNW	3,33	597	277

TK-20		Enero		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	152
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	113
Base en Tierra	SW	2,42	1080	237
Área de oficinas	WSW	2,33	480	243
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	243
Muelle	WNW	3,33	620	173

TK-20	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	195
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	115
Base en Tierra	SW	2,42	1080	239
Área de oficinas	WSW	2,33	480	241
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	241
Muelle	WNW	3,33	620	223

TK-20	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	212
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	117
Base en Tierra	SW	2,42	1080	235
Área de oficinas	WSW	2,33	480	242
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	242
Muelle	WNW	3,33	620	244

TK-20	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2030	193
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	320	117
Base en Tierra	SW	2,42	1080	235
Área de oficinas	WSW	2,33	480	242
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	410	242
Muelle	WNW	3,33	620	220

TK-21	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	242
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	175
Base en Tierra	SW	2,42	1060	347
Área de oficinas	WSW	2,33	470	361
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	361
Muelle	WNW	3,33	630	286

TK-21	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	275
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	201
Base en Tierra	SW	2,42	1060	400
Área de oficinas	WSW	2,33	470	413
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	413
Muelle	WNW	3,33	630	312

TK-21	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	283
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	223
Base en Tierra	SW	2,42	1060	458
Área de oficinas	WSW	2,33	470	470
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	470
Muelle	WNW	3,33	630	324

TK-21	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	2020	274
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	310	217
Base en Tierra	SW	2,42	1060	439
Área de oficinas	WSW	2,33	470	453
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	440	453
Muelle	WNW	3,33	630	312

TK-74	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	274
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	177
Base en Tierra	SW	2,42	1110	376
Área de oficinas	WSW	2,33	520	387
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	387
Muelle	WNW	3,33	650	311

TK-74	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	296
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	208
Base en Tierra	SW	2,42	1110	443
Área de oficinas	WSW	2,33	520	456
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	456
Muelle	WNW	3,33	650	339

TK-74	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	305
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	237
Base en Tierra	SW	2,42	1110	495
Área de oficinas	WSW	2,33	520	513
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	513
Muelle	WNW	3,33	650	352

TK-74	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4,17	1980	294
Bases de Crudo y Suministro	ESE	3,97	290	229
Base en Tierra	SW	2,42	1110	476
Área de oficinas	WSW	2,33	520	489
Laboratorio y Taller	WSW	2,33	450	489
Muelle	WNW	3,33	650	337

Anexo 6: Resultados del *software* ALOHA respecto a los Consejos.

Anexo 6a: Dimensiones de la nube tóxica de la gasolina de aviación (B-100).

TK-18	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3600	610
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	548
Versalles	ENE	4,69	3420	511
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	511
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	511
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	586

TK-18	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3600	671
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	603
Versalles	ENE	4,69	3420	563
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	563
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	563
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	644

TK-18	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3600	700
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	631
Versalles	ENE	4,69	3420	590
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	590
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	590
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	672

TK-18	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3600	670
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	604
Versalles	ENE	4,69	3420	564
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	564
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	564
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	644

TK-19	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3590	354
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	318
Versalles	ENE	4,69	3420	298
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	298
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	298
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	340

TK-19	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3590	414
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	372
Versalles	ENE	4,69	3420	348
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	348
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	348
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	397

TK-19	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3590	439
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	397
Versalles	ENE	4,69	3420	371
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	371
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	371
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	423

TK-19	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3590	413
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	372
Versalles	ENE	4,69	3420	348
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	348
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	348
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	397

TK-20	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3580	253
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	233
Versalles	ENE	4,69	3390	221
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	221
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	221
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	245

TK-20	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3580	329
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	302
Versalles	ENE	4,69	3390	286
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	286
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	286
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	318

TK-20	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3580	363
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	330
Versalles	ENE	4,69	3390	311
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	311
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	311
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	350

TK-20	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3580	326
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	299
Versalles	ENE	4,69	3390	284
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	284
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	284
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	315

TK-21	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3590	466
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	420
Versalles	ENE	4,69	3370	393
Matanzas Este	ENE	4,69	4530	393
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	393
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	448

TK-21	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3590	485
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	437
Versalles	ENE	4,69	3370	430
Matanzas Este	ENE	4,69	4530	430
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	430
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	467

TK-74	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3550	464
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	418
Versalles	ENE	4,69	3340	390
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	390
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	390
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	446

TK-74		Abril		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3550	508
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	458
Versalles	ENE	4,69	3340	428
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	428
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	428
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	488

TK-74		Julio		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3550	530
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	478
Versalles	ENE	4,69	3340	448
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	448
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	448
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	509

TK-74		Octubre		
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3550	508
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	459
Versalles	ENE	4,69	3340	429
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	429
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	429
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	489

Anexo 6b: Dimensiones de la nube tóxica del turbocombustible (Jet A-1).

TK-13	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3630	98
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	98
Versalles	ENE	4,69	3350	-
Matanzas Este	ENE	4,69	4520	-
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5160	-
Peñas Altas	NNW	3,72	3630	98

Tk-13	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3630	114
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	114
Versalles	ENE	4,69	3350	114
Matanzas Este	ENE	4,69	4520	114
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5160	114
Peñas Altas	NNW	3,72	3630	114

Tk-13	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3630	121
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	121
Versalles	ENE	4,69	3350	121
Matanzas Este	ENE	4,69	4520	121
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5160	121
Peñas Altas	NNW	3,72	3630	121

TK-13	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube tóxica (m)
Playa	N	3,47	3630	112
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	112
Versalles	ENE	4,69	3350	
Matanzas Este	ENE	4,69	4520	
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5160	
Peñas Altas	NNW	3,72	3630	112

Anexo 6c: Dimensiones de la nube explosiva de la gasolina de aviación (B-100).

TK-18	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3600	390
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	345
Versalles	ENE	4,69	3420	325
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	325
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	325
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	372

Tk-18	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3600	444
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	379
Versalles	ENE	4,69	3420	353
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	353
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	353
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	409

Tk-18	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3600	459
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	394
Versalles	ENE	4,69	3420	366
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	366
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	366
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	426

Tk-18	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3600	443
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	377
Versalles	ENE	4,69	3420	351
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	351
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	351
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	408

TK-19	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión (m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	235
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	203
Versalles	ENE	4,69	3420	188
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	188
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	188
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	220

TK-19	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	272
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	237
Versalles	ENE	4,69	3420	218
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	218
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	218
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	262

TK-19	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	288
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	264
Versalles	ENE	4,69	3420	230
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	230
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	230
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	276

TK-19	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	270
Pueblo Nuevo	NE	4,17	5010	234
Versalles	ENE	4,69	3420	216
Matanzas Este	ENE	4,69	4580	216
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5220	216
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	260

TK-20	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3580	169
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	152
Versalles	ENE	4,69	3390	142
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	142
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	142
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	163

TK-20	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3580	217
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	195
Versalles	ENE	4,69	3390	182
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	182
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	182
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	209

TK-20	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3580	239
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	212
Versalles	ENE	4,69	3390	197
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	197
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	197
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	227

TK-20	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3580	215
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	193
Versalles	ENE	4,69	3390	180
Matanzas Este	ENE	4,69	4550	180
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	180
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	207

TK-21	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	280
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	242
Versalles	ENE	4,69	3370	223
Matanzas Este	ENE	4,69	4530	223
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	223
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	268

TK-21	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	304
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	275
Versalles	ENE	4,69	3370	245
Matanzas Este	ENE	4,69	4530	245
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	245
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	291

TK-21	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	315
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	283
Versalles	ENE	4,69	3370	265
Matanzas Este	ENE	4,69	4530	265
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	265
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	301

TK-21	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3590	303
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4990	274
Versalles	ENE	4,69	3370	243
Matanzas Este	ENE	4,69	4530	243
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5180	243
Peñas Altas	NNW	3,72	3560	290

TK-74	Enero			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3550	302
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	274
Versalles	ENE	4,69	3340	242
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	242
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	242
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	289

TK-74	Abril			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3550	330
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	296
Versalles	ENE	4,69	3340	265
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	265
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	265
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	315

TK-74	Julio			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3550	343
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	305
Versalles	ENE	4,69	3340	275
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	275
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	275
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	327

TK-74	Octubre			
Áreas afectadas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Distancia desde la fuente de emisión(m)	Largo de la nube explosiva (m)
Playa	N	3,47	3550	328
Pueblo Nuevo	NE	4,17	4950	294
Versalles	ENE	4,69	3340	265
Matanzas Este	ENE	4,69	4500	265
Matanzas Oeste	ENE	4,69	5150	265
Peñas Altas	NNW	3,72	3540	314

Anexo 7: Localización de los Consejos Populares del municipio de Matanzas.



Leyenda:

1. Playa
2. Pueblo Nuevo
3. Versalles
4. Matanzas Este
5. Matanzas Oeste
6. Peñas Altas

Anexo 8: Trabajadores de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas.

Áreas de la UEB.	Cantidad de Trabajadores.
Barrera	10
Terminal-320	35
Base de Crudo y Suministro	30
Planta de Gas Licuado	26
Mantenimiento	92
Base en Tierra	21
Muelle	49
Laboratorio	22
Oficinas:	
Marítimo	12
Dirección General	6
Seguridad y Protección	12
Despacho	16
Supervisión y Control	7
Atención al cliente	14
Dirección Técnica	3
Técnica y Desarrollo	9
Seguridad Industrial	11
Informática	5
Calidad	4
Economía	28
Recursos Humanos	16
Logística	53
Comercial	86
Coordinación	3
Inversiones	10

Anexo 9: Resultados del censo poblacional del año 2012 en los Consejos Populares de la ciudad de Matanzas.

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

Anexo 10: Afectaciones de la sobrepresión sobre las estructuras.

Sobrepresión (psi)	Daño
0,005	Se escucha un sonido que denota la ocurrencia de un suceso inusual.
0,02	Ruido molesto.
0,03	Rotura ocasional de ventanas de vidrio bajo tensión.
0,04	Ruido fuerte.
0,10	Rotura de ventanas pequeñas bajo tensión.
0,15	Presión típica de rotura de cristales.
0,20	Umbral para la pérdida temporal de la audición.
0,30	95% de probabilidad de que no ocurran serios daños.
0,4	Daños estructurales limitados menores como rotura de ventanas, rotura de losas y crujidos de los techos y las paredes.
0,7	Daños menores a la estructura de las casas.
1,0	Demolición parcial de las casas.
1,2	40 % de daño en las estructuras.
2	Colapso parcial de las paredes y los techos.
3	Edificios con marcos de acero torcidos y empujados fuera de sus lugares.
3,3	80 % de daños en las estructuras.
3-4	Ruptura de los tanques de almacenamiento de combustibles.
5	Rotura de postes de electricidad y teléfono.
5-7	Destrucción completa de las estructuras cercanas.
7	Se vuelcan los carros de tren cargados.
10	100 % de daños.

Fuente: Wells, (2003).

Anexo 11: Daño según flujo térmico recibido.

Radiación térmica kW / m ²	Efecto
1,4	Se considera inofensivo para las personas sin ningún tipo de protección
1,7	Mínimo necesario para causar dolor
2,1	Mínimo necesario para causar dolor después de 1 minuto.
4,0	Suficiente para causar dolor con una exposición de 20 s; quemaduras de primer grado.
4,7	Causa dolor en 15-20 s, heridas después de 30s.
11,7	El acero fino parcialmente aislado puede perder la integridad mecánica
12,5	100% letal. La madera prende tras una larga exposición. Fusión del plástico en los cables eléctricos.
25	El acero fino aislado puede perder la integridad mecánica.
37,5	Suficiente para causa daño en cualquier equipo. Colapso de estructuras.

Fuente: López, (2017)

Anexo 12: Costo de reposición de los equipos destruidos de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles de Matanzas.

Anexo 12a: Costo de reposición de los tanques destruidos en la Terminal 320.

Tanque	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen (m ³)	Costo (\$)
1	36,5	8,878	9 285	597 024
4	34,2	8,722	8 008	534 991
24	34,2	12,345	11 335	689 853
25	34,2	12,422	11 405	693 152
26	34,2	12,636	11 602	702 428
16	22	12,067	4 585	360 305
17	22	12,224	4 644	363 365
18	15,5	12,275	2 315	236 195
19	10,2	9,113	744	133 322
20	6	7,584	214	85 728
21	8	12,564	631	124 363
74	15,5	12,484	2 354	238 479
13	36,5	10,653	11 141	680 704
22	34,2	12,459	11 439	694 753
23	34,2	12,545	11 518	698 475
6	15,5	12,49	2 356	238 596
8	6	7,722	218	86 169
57	15,5	12,438	2 346	238 012
15	34,2	14,84	13 626	797 248
14	34,2	14,805	13 593	795 708
Total				8 988 871

Anexo 12b: Costo de reposición de los tanques destruidos en la Base en Tierra.

Tanque	Diámetro (m)	Altura (m)	Volumen (m3)	Costo (\$)
49	70	11,93	45 889	2 226 367
50	70	11,915	45 831	2 224 687
52	70	11,92	45 850	2 225 247
53	70	11,2	43 081	2 143 598
54	70	11,92	45 850	2 225 247
55	70	11,19	43 042	2 142 450
56	70	12,205	46 947	2 257 019
69-1	-	-	10 000	626 670
69-2	-	-	10 000	626 670
70-1	-	-	10 000	626 670
70-2	-	-	10 000	626 670
Total				17 951 296

Anexo 12c: Costo de reposición de los tanques destruidos en la Base de Crudo y Suministro.

Tanque	Volumen (m3)	Costo (\$)
27	31 261	1 376 842
28	17 105	958 853
29	46 549	1 748 366
30	9 904	622 085
33	9 914	622 599
34	9 925	623 112
35	9 925	623 112
36	9 935	623 575
37	46 301	1 742 765
38	9 918	797 248
39	934	147 558
40	2 054	220 712
41	4 406	351003
42	3 540	304 976
71	384	102 927
72	384	102 927
Total		10968 661

Anexo 12d: Costo de reposición de los equipos destruidos en la Base de Crudo y Suministro.

Proceso	Equipos	Costo
Oleoductos	IE-102 A Santa Cruz	118 505
	IE-102 B Guiteras	98 093
	Filtro IF-102 A (Santa Cruz)	209 057
	Filtro IF-103 A(Guiteras)	159 754
	Bombas IP 103 AM (Santa Cruz)	283 365
	Bombas IP 103 BM (Santa Cruz)	283 365
	Bombas IP 103 A (Guiteras)	152 599
	Bombas IP 103 B (Guiteras)	152 599
Caldera	Bomba de agua	48 398
	Bomba de crudo	67 968
	Intercambiador de calor	19 948
	Generador de vapor	352 876
Mezcla	Intercambiador de calor IE-205A	111 424
	Intercambiador de calor IE-205b	111 424
	Filtro IF-201A	292 027
	Filtro IF-201B	292 027
	Bomba IP-302	45 546
Total		2 798 975