

**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 Y SU ENTORNO.**

**Autora: Lisbett Naranjo Delgado.**

**Tutores: Ing. Santiago Díaz Suárez. MSc.**

**Ing. Yanay Carmenate Martínez.**

**Matanzas, Cuba, 2019**

## **DECLARACIÓN DE AUTORIDAD**

---

Yo, Lisbett Naranjo Delgado, declaro que soy la única autora 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, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

---

Lisbett Naranjo Delgado

# NOTA DE ACEPTACIÓN

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Presidente del tribunal

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Miembro del tribunal

\_\_\_\_\_  
Firma

\_\_\_\_\_  
Miembro del tribunal

\_\_\_\_\_  
Firma

*“El mundo no está en peligro por las malas personas, sino por aquellas que permiten la maldad.”*

*Albert Einstein*

# *Dedicatoria.*

*A mi abuelo Nilo.*

*A mi mamá.*

*A mi papá.*

*A mi tutor Santiago.*

## *Agradecimientos.*

*Quiero agradecer a todas las personas que de una forma u otra colaboraron y me apoyaron en este largo camino:*

*A mis padres: mi madre por ser la persona que me daba fuerzas para seguir adelante y no rendirme nunca; mi padre por estar acompañándome en cada momento que lo necesitara y sacándome siempre de los apuros.*

*A mi abuela Rosa por estar siempre pendiente de mí y comprenderme.*

*A mi tía Ana por ayudarme en todo lo que estuviera a su alcance.*

*A Ebert que no le tocó todo, pero una de las etapas más difíciles, la recta final.*

*A mis vecinos por colaborar con mi comunicación a la hora que lo necesitara.*

*A mi tutor Santiago por su confianza, paciencia y dedicación y a su esposa Vilma por su hospitalidad.*

*A mi tutora Yanay por su comprensión y por la ayuda brindada.*

*A todos los profesores que contribuyeron con mi formación.*

*A los trabajadores de la UEB, por su atención y ayuda destacándose siempre la Profe Lili estando dispuesta a la hora que fuera.*

*En fin, les agradezco a todos los que me acompañaron y confiaron en mí.*

*Muchas Gracias.*

## RESUMEN

Este trabajo de investigación se realiza 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, ante la ocurrencia de accidentes en los tanques de almacenamiento de diésel y nafta, obteniéndose que las mayores áreas de riesgo son las generadas por el BLEVE. Se determinó mediante las ecuaciones *Probit* el número de personas afectadas en la zona de estudio, siendo el BLEVE el escenario de riesgo que mayor impacto tiene sobre los trabajadores de la UEB y los Consejos Populares. Se establece que la afectación económica por concepto de reposición total de equipos en caso de una explosión de una nube de vapor es de \$ 507 024 y en caso de un BLEVE es \$ 40 707 803 aproximadamente.

## **ABSTRACT**

This investigation work is carried out 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 province. In the same one are determined, through the software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), the areas affected in the plant and in the environment, before the occurrence of accidents in the tanks of diésel storage and naphtha, being obtained that the biggest areas of risk are those generated by the BLEVE. It was determined by f the equations Probit the number of people affected in the study area, being the BLEVE the scenario of risk that bigger impact has on the workers of the UEB and the Popular Council. It was settles down that the economic affectation for concept of total reinstatement of teams in the event of an explosion of a cloud of vapor is of \$ 507 024 and in the event of a BLEVE it is \$ 40 707 803 approximately.



## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1: Análisis Bibliográfico.....	4
1.1 Características y propiedades de las sustancias de interés.....	4
1.2 Análisis de riesgo.....	5
1.3 Riesgos mayores y catástrofes.....	8
1.3.1 Incendios.....	8
1.3.2 Explosiones.....	14
1.3.3 Nube tóxica.....	16
1.4 <i>Softwares</i> que son utilizados para estimar áreas de atmósferas peligrosas.....	18
1.5 Métodos para la determinación del efecto de la radiación y la sobrepresión sobre las personas.....	21
1.6 Variables climatológicas.....	22
1.7 Conclusiones Parciales.....	24
CAPÍTULO 2: Materiales y métodos.....	25
2.1 Caracterización de la UEB.....	25
2.2 Caracterización toxicológica de las sustancias a tratar.....	27
2.3 Características y particularidades del <i>software</i> ALOHA.....	30
2.4 Metodología para determinar el efecto de la radiación y la sobrepresión sobre las personas. Método <i>Probit</i> .....	36
2.4.1 Vulnerabilidad a explosiones.....	36
2.4.2 Vulnerabilidad a radiaciones térmicas.....	37
2.5 Análisis del Impacto Económico.....	38
CAPÍTULO 3: Análisis de los resultados.....	40
3.1 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el <i>software</i> .....	40
3.2. Resultados de la aplicación del <i>software</i> ALOHA.....	42
3.2.1 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por la nube tóxica.....	42
3.2.2 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por la explosión de una nube de vapor.....	49
3.2.3 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por el BLEVE... ..	50

3.3. Análisis de resultados alcanzados por <i>Probit</i> .....	52
3.3.1 Análisis de vulnerabilidad a explosiones.....	52
3.3.2 Análisis de vulnerabilidad a radiaciones térmicas.....	53
3.4 Análisis del Impacto Económico.....	56
3.5 Conclusiones parciales. ....	58
CONCLUSIONES.....	59
RECOMENDACIONES .....	60
BIBLIOGRAFÍA .....	61
ANEXOS .....	68

## INTRODUCCIÓN

El gran desarrollo tecnológico de los últimos años en los países industrializados ha estado asociado a un importantísimo crecimiento de la industria química; la que suministra a la sociedad una serie de bienes de consumo sin los cuales, ésta difícilmente podría existir en su forma actual.

La notable evolución de la misma ha dado lugar a la proliferación de instalaciones industriales, el aumento casi constante de su tamaño, el consiguiente incremento de los productos contenidos en dichas plantas, y el aumento del transporte de estos por carretera, ferrocarril, tubería o por mar. Todos estos cambios han implicado, asimismo, la aparición de nuevos riesgos, que pueden originar accidentes graves con un fuerte impacto sobre la población, el medio ambiente y los bienes. (Casal *et al.*, 2002, Vílchez y Pérez, 2001).

La industria del petróleo ha sido un sector que ha presentado alto riesgo, pues se manejan considerables volúmenes de combustibles que son altamente volátiles, es por ello que los avances han estado encaminados a crear sistemas cada vez más seguros donde Cuba no se encuentra ajena a esta situación.

La UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas es uno de los lugares destinados a la recepción, comercialización y almacenamiento de combustibles. Dicha instalación tiene como política un ambiente de trabajo seguro y condiciones de bienestar físico-mentales para todos los trabajadores, creando las condiciones, capacidades y cultura para desarrollar la actividad laboral de forma eficiente. No por ello está exenta de los riesgos que en este tipo de industria pueden dar lugar a determinados accidentes.

Desde hace una década aproximadamente, se han desarrollado varias investigaciones encaminadas a obtener los escenarios de accidentes químicos que pueden producirse con las diferentes sustancias que se almacenan. Sus resultados son valiosos para la confección de los planes de protección y emergencia, no solo para la UEB sino para otros organismos como la defensa

civil. Los proyectos realizados hasta este momento han seguido diferentes criterios de investigación, tratando 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 adicional se pretende aplicar para obtener la severidad de los escenarios de accidentes sobre las áreas con mayor presencia de trabajadores en la UEB, y sobre las zonas mayormente pobladas aledañas a la misma, en el caso de que la fuente del accidente provenga de los tanques de almacenamiento de diésel y nafta de la Terminal 320.

En correspondencia con lo expuesto anteriormente, podemos plantear como **problema de investigación:**

¿Cómo evaluar la afectación social y económica de las áreas de atmósferas peligrosas, que se pueden originar por accidentes químicos en los tanques de almacenamiento de diésel y nafta de la Terminal 320?

Para dar solución a este problema, se plantea la **hipótesis** siguiente:

Si se aplican las técnicas de determinación de áreas de atmósferas peligrosas para estas sustancias, en las direcciones donde laboran la mayor cantidad de empleados de la UEB, y donde existe más población, 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:**

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

## **CAPÍTULO 1: Análisis Bibliográfico.**

En el presente capítulo se recogen las temáticas necesarias para el desarrollo de la investigación, donde se analizan las características de las sustancias de interés y los principales riesgos que tienen lugar en las industrias petroquímicas. Además, se estudian los principales *softwares* que son utilizados para estimar áreas de atmósferas peligrosas y los métodos para evaluar los daños.

### **1.1 Características y propiedades de las sustancias de interés.**

De las características de las sustancias objeto de estudio dependen en gran medida los riesgos que se dan en instalaciones de recepción, almacenamiento y comercialización de combustible. Las sustancias que se van a estudiar son el diésel y la nafta.

#### ➤ Diésel.

El diésel, también conocido como gasóleo, es un combustible fósil de estado líquido. Está compuesto por un 75 % de hidrocarburos saturados (tal como las parafinas, isoparafinas y cicloparafinas) y un 25 % de hidrocarburos aromáticos (incluyendo naftalenos y alcalobencenos). La fórmula química para el diésel atendiendo a los hidrocarburos que lo integran es  $C_{11}H_{24}$ , variando entre  $C_{10}H_{22}$  y  $C_{15}H_{32}$ . (Nguyen, 2011).

La composición específica varía según la fuente de petróleo crudo, el grado de transformación química tal como la fragmentación, reformación y de los métodos de separación. Típicamente los alcanos son el grupo principal dentro del diésel, estos químicos son generalmente los que emiten la mayoría de calor cuando son quemados.

En general, la fracción de petróleo crudo utilizada como diésel es la que tiene la temperatura de ebullición en el rango de 250-400 °C, más alto que la gasolina (0 a 200 °C) y el queroseno (175-275 °C), pero más bajo que el combustóleo. (Cuautle, 2007 y Loaiza *et al.*, 2015).

➤ Nafta.

La nafta es un líquido amarillo claro transparente, aromático y volátil, obtenido como producto de la destilación fraccionada del petróleo crudo, por lo que su estructura molecular se asemeja a la del crudo. Es un producto estable e inflamable a temperatura ambiente en presencia de fuentes de ignición, por lo que debe evitarse su exposición a llamas, chispas y calor. (Hernández, 2017).

Normalmente se considera nafta a la fracción del petróleo cuyo punto de ebullición se encuentra aproximadamente entre 28 y 177 °C (umbral que varía en función de las necesidades comerciales de la refinería). Esto incluye a hidrocarburos que van desde C<sub>5</sub> a C<sub>12</sub>, algunos sulfuros y unas pequeñas cantidades de nitrógeno. A su vez, este subproducto se subdivide en nafta ligera (hasta unos 100 °C) y nafta pesada (el resto). La nafta ligera es uno de los componentes de la gasolina, con número de octano en torno a 70. La nafta pesada no tiene la calidad suficiente como para ser utilizada para ese fin, y su destino es la transformación mediante reformación catalítica, proceso químico por el cual se obtiene también hidrógeno, a la vez que se aumenta el octanaje. (García, 2013).

## 1.2 Análisis de riesgo.

Casal *et al.*, (2002), Motwali, (2010), López, (2017), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 1999) y Zambrano *et al.*, (2012) han propuesto diversas definiciones de riesgo: “situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento”, o bien “probabilidad de que suceda un determinado peligro potencial”, así como, “consecuencias no deseadas de una actividad dada, en relación con la probabilidad de que ocurra”.

Aven *et al.*, (2015) y Landquist, (2016) plantean que riesgo es la posibilidad de que ocurra un evento adverso dentro de un determinado tiempo y con consecuencias específicas.

Según Casal *et al.*, (2002) y Castro *et al.*, (2013), desde el punto de vista de las actividades industriales, los riesgos pueden clasificarse en otras tres categorías:

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

Los dos primeros están relacionados con la seguridad y la higiene en el trabajo y por su forma de actuar, pueden ser, en general, relativamente fáciles de prevenir.

En cambio, las especiales características de los riesgos mayores los convierten probablemente en la contingencia más temible. Actuando con una severidad a veces extrema, estos accidentes pueden presentar una característica importantísima: la de rebasar los límites de la instalación, incidiendo sobre la población externa y sobre el medio ambiente. Son estas características las que han contribuido esencialmente a conferir a la industria química una imagen de peligro. A ellas se debe también que gran parte de los esfuerzos realizados actualmente se dirijan hacia la prevención de los riesgos mayores, denominados también riesgos de accidentes graves. La reducción de estos es el objetivo principal del denominado Análisis de Riesgos.

Pastrana, (2014) plantea que el análisis de riesgos es una disciplina que combina la evaluación de ingeniería del proceso con técnicas matemáticas, que permiten realizar estimaciones de frecuencia y consecuencia de accidentes.



Técnicamente, el análisis de riesgos puede enfocarse de dos maneras distintas, según Vílchez y Pérez, (2001):

- Tratamiento probabilístico: se analizan las consecuencias de accidentes en relación con sus frecuencias de suceso. Las medidas de protección y prevención se dirigen prioritariamente a las situaciones incidentales de mayor riesgo, definido éste como el producto de las consecuencias por la frecuencia.
- Tratamiento determinístico: se analizan simplemente las consecuencias de accidentes en las condiciones más desfavorables, incluso en el caso de que su frecuencia estimada sea muy baja; es decir, se analizan las consecuencias máximas de cara a adoptar medidas de prevención y protección. Es un tratamiento menos riguroso que el probabilístico y que exige menor esfuerzo; en realidad, sus conclusiones representan un máximo frente al que adoptar medidas y planificar la respuesta exterior.

Vílchez y Pérez, (2001), Casal *et al.*, (2002), Gabarrel, (2008) y Sánchez, (2016) concuerdan en que el análisis de riesgo está orientado a la determinación de los siguientes aspectos:

- Accidentes que pueden ocurrir.
- Frecuencia de los mismos.
- Magnitud de sus consecuencias.

Para evaluar el riesgo se estudian los acontecimientos internos, es decir, aquellos que tienen su origen en la propia industria y al mismo tiempo los externos, tanto los de origen natural (terremotos, inundaciones) como artificial (explosiones, incendios o nubes procedentes de plantas vecinas, accidentes de carretera) capaces de originar posteriores emergencias internas.

Las diferentes fases por la que se desarrollan los estudios de riesgos y su inclusión en el proyecto de una determinada instalación quedan reflejadas en el Anexo 1.

Para completar el análisis de riesgos, será necesario evaluar los efectos y consecuencias del accidente mediante los modelos matemáticos pertinentes; cuyas ecuaciones comprenden las características físicas y químicas de las sustancias en cuestión, las condiciones del escape, la estructura del terreno, las condiciones meteorológicas, entre otros aspectos.

### **1.3 Riesgos mayores y catástrofes.**

En este epígrafe se analizan los denominados riesgos mayores, como son los incendios, explosiones y nube tóxica; sus principales características y causas que lo originan en las instalaciones industriales.

Según Ferrero, (2006) en la industria de proceso existen tres tipos de escenarios accidentales: escenarios que determinan efectos peligrosos de tipo térmico (incendios); mecánicos (explosiones) y químicos (dispersión de producto tóxico).

#### **1.3.1 Incendios.**

El incendio representa una manifestación no deseada del fuego que se desarrolla sin control en el tiempo, en un momento y lugar imprevisto, provocando daños y pérdidas. (Galán, 2012).

Castro. D y Castro. K, (2014) y Febles, (2015) plantean que un incendio es una reacción química de oxidación-reducción fuertemente exotérmica, son los reactivos el oxidante y el reductor. En terminología de incendios, el reductor se denomina combustible y el oxidante, comburente; las reacciones entre ambos se denominan combustión. Para que un incendio se inicie es necesario que el combustible y el comburente se encuentren en espacio y tiempo en un estado energético suficiente para que se produzca la reacción entre ambos.

Los incendios presentan diferentes manifestaciones, como son incendios de gas, entre los que se encuentra el de un chorro y una nube de gas, y los incendios de líquidos, como son la balsa de fuego al aire libre, bolas de fuego, *boilover* y otros.

➤ **Incendios de gas.**

- **Incendio de un chorro de gas (*jet fire*).**

Cuando una fuga de vapores o gases inflamables a presión tiene contacto con una fuente de ignición, se genera un incendio de chorro de gas. La situación puede presentarse por ruptura de una tubería en áreas de proceso o depósitos de almacenamiento.

En un *jet fire* no hay retroalimentación de la llama y, por lo tanto, la cantidad de gas que sustenta la llama depende únicamente de las características de la fuga, es decir, del tipo de combustible y del caudal de salida. (Ferrero, 2006).

Según López, (2006) el *jet fire* se presenta cuando una fuga continua del gas se prende cerca del punto de la fuga, y sus efectos se manifiestan por la radiación térmica incesante. Esta fuga localizada de gases o vapores (inflamables) se puede dar a través de perforaciones, bridas, empaques, uniones de tuberías, etc. La zona afectada depende de la velocidad y del área de descarga del gas, orientación y dirección del chorro y condiciones metodológicas predominantes en el momento del evento. Este tipo de incendio tiene un peligro relativamente bajo en sí mismo, pero si el dardo afecta a equipo colindante, puede dar lugar a otros accidentes más graves.

- **Incendios de una nube de gas (*flash fire*).**

Este tipo de incendio ocurre cuando una fuga de gas o vapor inflamable genera una nube que, antes de dispersarse completamente, tiene contacto con una fuente de ignición, produciendo una llamarada.

No es siempre fácil distinguir entre explosión e incendio de una nube de gas. Sin embargo, se puede decir que, en el segundo caso, los efectos de la presión pueden considerarse despreciables, siempre que no existan obstáculos al propagarse el frente de la llama, el cual se mueve desde el punto de ignición hacia el punto de fuga, a través de las zonas que se encuentran entre los límites de

inflamabilidad. Consecuentemente, en el caso en que el vertido que origina la nube de gas provenga de un tanque, existe la posibilidad de originar un *pool fire*, debido al retroceso de la llama. (Ferrero, 2006).

Según Fernández, (2008) se denomina *flash fire* a la combustión muy rápida de una mezcla de aire más vapor inflamable, que se dispersa en la atmósfera, con características tales que los efectos de presión sean despreciables, y quedan como efectos a considerar los correspondientes a la radiación térmica.

En el caso de un *flash fire*, la ignición da lugar a un fuego que consume rápidamente la materia inflamable contenida en la nube, sin efectos graves en el exterior de las llamas. De ahí que se considere su alcance como la región del espacio correspondiente al límite inferior de inflamabilidad. La duración típica de la combustión de la nube de gas resulta despreciable.

➤ **Incendios de líquido.**

• **Incendios de balsa al aire libre (*pool fire*).**

Un incendio de balsa se define como un incendio en el cual el sustrato en combustión está en posición horizontal. Se origina al producirse una fuga o un vertido de un combustible líquido sobre el suelo y al exterior. En el caso en que haya ignición, se producirá un fuego, con llamas de tipo difusivo (es decir, sin premezcla de aire y combustible), muy afectado por el tipo de fuga; si esta es instantánea, el líquido se extenderá hasta encontrar un obstáculo, natural o artificial, o hasta que el combustible se queme totalmente. En cambio, si el escape es continuo y no hay barreras, el tamaño de la balsa crecerá hasta un punto en el cual la velocidad de combustión iguala el caudal del vertido; es decir, se alcanza una situación de equilibrio, con un diámetro constante hasta que no se pare la fuga. Cuando el líquido queda retenido en un recipiente o en un área protegida, el desarrollo del fuego no está tan afectado por el carácter de la fuga. El factor que más influye sobre el desarrollo de un incendio de este tipo es el tamaño de la balsa, siempre expresado en términos de diámetro equivalente. (Ferrero, 2006).

Según López, (2006) y Piedra y Valdivieso, (2013), el *pool fire* se trata de un caso en que el incendio se produce en una condición abierta (no presurizada). La piscina de fuego ocurre posterior al derrame del producto, una vez que se produce una rotura de una línea que transfiere un fluido líquido. Por el efecto de la evaporación instantánea del producto se puede originar una nube inflamable que puede entrar en ignición y posteriormente ocurrir el incendio del producto que permanece esparcido sobre la superficie. Las manifestaciones de este tipo de incendio suelen ser la emisión de calor radiante y la de humos.

- **Bolas de fuego/ BLEVE.**

Una bola de fuego puede ser definida como la combustión rápida y turbulenta de una esfera ascendente de combustible. 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*). El calor aportado aumenta la temperatura en el interior del depósito y, consecuentemente, la presión interna, hasta llegar a un momento en el cual las paredes del tanque ceden por ruptura mecánica, explotando dicho tanque. La despresurización a la cual se somete el líquido, que se encuentra en un estado de sobrecalentamiento, provoca una vaporización brutal de parte del mismo, debido a un proceso de nucleación espontánea, generando una mezcla bifásica líquido-vapor. La subida extraordinaria de volumen del líquido, al vaporizarse, provoca una onda de presión que lanza fragmentos del recipiente hasta distancias de centenares de metros.

En el caso en que la sustancia contenida en el recipiente no sea inflamable, el fenómeno se clasifica simplemente como BLEVE, y los efectos son mecánicos. Por el contrario, si la sustancia es inflamable, la masa de líquido y vapor en el momento de la explosión se incendia, originando una bola de fuego que, en los primeros instantes, tiene forma hemisférica y tiende a moverse hacia el suelo. Esta masa inicialmente solo puede quemar en su superficie, pues su parte interior, muy rica en combustible y prácticamente sin aire, se encuentra fuera de los límites de

inflamabilidad. Posteriormente, cuando la turbulencia propia del incendio excede la expansión inicial de la bola de fuego, el aire entra en la masa de combustible y, a la vez, la radiación hace evaporar las gotas de líquido, calentando el conjunto. El proceso conlleva un aumento de la masa encendida, que va tomando una forma esférica y asciende, originando el perfil característico de una explosión nuclear. (Ferrero, 2006).

Como las sustancias que se tratan en esta investigación son altamente inflamables, no solo ocurrirá un BLEVE, sino que también tendrá lugar una bola de fuego.

Según Hemmatian *et al.*, (2016), Tauseef, *et al.*, (2010) y Pemex, (2008) es la explosión producida por la expansión súbita de los vapores de un líquido contenido en un recipiente cerrado, sujeto a una temperatura superior a la de su punto de ebullición, a la presión atmosférica. El BLEVE no implica necesariamente una bola de fuego.

Este fenómeno se asocia generalmente con una gran liberación explosiva de un gas licuado del petróleo. La parte explosiva de la liberación es causada por un cambio de fase muy rápido de líquido a vapor. (Hemmatian, 2016).

Según Motwali, (2010) y Galán, (2012) las causas que originan el BLEVE son:

- ✓ Líquido sobrecalentado.
- ✓ Rápida bajada de presión, que puede estar provocada por fisuras (rotura del recipiente, impactos mecánicos sobre el recipiente) o acción de discos de ruptura, directos al depósito.
- ✓ En relación con las dos anteriores, que la presión y la temperatura concretas, para cada producto permita la nucleación espontánea (formación súbita y simultánea de burbujas en toda la masa del líquido), provocando una evaporación rapidísima.

Las explosiones de tipo BLEVE son uno de los peores accidentes que pueden ocurrir en la industria química o en el transporte de mercancías peligrosas. Las sustancias que lo pueden producir (butano, propano, cloruro de vinilo, cloro, etc.) son relativamente comunes en la industria, y abundan en las instalaciones susceptibles de sufrirlo (depósitos, cisternas). El origen puede ser diverso, pero una de las causas más frecuentes es la acción del fuego sobre un recipiente. (Casal *et al.*, 2002 y Wells, 2003).

- **Borbollón (*Boilover*).**

Según Casal *et al.*, (2002) y Nwabueze, (2016) el *boilover* puede producirse sobre todo en depósitos conteniendo mezclas de diversos hidrocarburos. Si en uno de estos depósitos se produce un incendio que puede durar muchas horas, la capa superficial de hidrocarburo se va calentando, debido a la radiación del incendio. Esta capa entra en ebullición, experimentando un proceso de destilación: los componentes más volátiles son los que pasan preferentemente a vapor, alimentando la llama.

De esta forma, al irse enriqueciendo en los componentes más pesados (de mayor temperatura de ebullición) esta capa superficial va aumentando de temperatura. A medida que transcurre el tiempo, esta capa aumenta de espesor, progresando en profundidad. De esta forma una onda de calor se propaga hacia la parte inferior del depósito. Si el mismo contiene agua, en forma de capa acuosa o de emulsión, en algún momento esta ola de calor (a una temperatura superior a la de ebullición del agua) llegará a la capa acuosa. Esto provocará una cierta vaporización inicial del agua, lo que traerá consigo la mezcla de ambas capas. La generación prácticamente instantánea de una gran cantidad de vapor, con un volumen específico muy superior al del líquido, dará lugar a 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.

Según Casal *et al.*, (2002), Wehmeier y Mitropetros, (2016), Gyenes, (2017) y Blengini *et al.*, (2017) las condiciones necesarias para la existencia de un *boilover* son:

- ✓ Presencia de agua en el recipiente, la cual puede ser debida a un contenido de agua del propio hidrocarburo, haber penetrado en el recipiente por fuertes lluvias, o haberse condensado la humedad del aire del recipiente a causa de cambios en la temperatura ambiente; finalmente, puede ser debida al agua utilizada como refrigeración o para la extinción en caso de incendio.
- ✓ Generación de una ola de calor; es decir, existencia de una amplia gama de volatilidades en los componentes presentes en el depósito.
- ✓ Que la viscosidad del hidrocarburo sea suficientemente elevada para dificultar el paso del vapor.

### **1.3.2 Explosiones.**

Las explosiones no son más que la liberación de energía que causa ondas de choque. (Motwali, 2010).

Según Abbasi *et al.*, (2010), Galán, (2012) y Rosero, (2015), determinadas igniciones de combustible y su posterior combustión, presentan manifestaciones que resultan espectaculares por su intensidad y efectos destructivos, estos casos se denominan explosiones. Es esencialmente una propagación automantenida de la zona de reacción en la atmósfera explosiva. Se puede definir como una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente que la origina, que va perdiendo energía con el tiempo. Esta liberación es bastante rápida y concentrada para que la onda que se genere sea audible.



Según Fernández, (2008) las explosiones pueden clasificarse, según su grado de confinamiento en:

- ✓ Explosiones confinadas (CVE, *Confined Vapour Explosion*): es la producida en el interior de un recipiente.
  - ✓ Explosiones no confinadas (UVCE, *Unconfined Vapour Cloud Explosion*): aquella que tiene lugar en la atmósfera abierta.
- Explosiones confinadas.

La energía liberada en una explosión confinada en un recipiente, se distribuye entre energía de ondas de choque y energía de proyección de fragmentos. Estas pueden ser de dos tipos:

1. Explosiones físicas: 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.
  2. Explosiones químicas: 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 de la reacción química.
- Explosiones no confinadas.

Casal *et al.*, (2002) y Fabbri *et al.*, 2017 plantea que las UVCE 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 durante un transporte o por la rotura de un gasoducto. En cualquier caso, una vez formada la nube, esta puede:

- ✓ dispersarse en el aire antes de que se produzca la ignición, sin causar daños;
- ✓ prender inmediatamente e iniciar un incendio de charco (en general, en este caso no habrá explosión y los daños ocasionados serán menores);

- ✓ dispersarse en un área extensa y producirse la ignición al cabo de un cierto tiempo, de manera que se formará una gran llamarada;
- ✓ dispersarse en un área extensa y producirse la ignición al cabo de un cierto tiempo, de manera que se formará una gran llamarada, pero de modo que el frente de la llama se acelera tanto que genera una onda de sobrepresión.

### **1.3.3 Nube tóxica.**

Según Fernández, (2008) la nube tóxica se define como “la dispersión de vapores en forma de nube con concentraciones tales, capaces de provocar afectaciones para la salud”.

Según Casal *et al.*, (2002) el término dispersión es utilizado en la modelización de accidentes para describir la evolución de una nube de gas tóxica o inflamable en la atmósfera. La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo a medida que va disminuyendo su concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento, y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal.

Entre las variables meteorológicas que afectan en mayor o menor grado la dispersión atmosférica de contaminantes se encuentran:

- ✓ El viento: tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. Influye también en la estabilidad atmosférica.
- ✓ La estabilidad atmosférica es una variable que se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante; representa el grado de turbulencia existente en un momento determinado.

Se ha establecido una clasificación en categorías, denominadas "categorías de Pasquill", tal como se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 1.1:** Definición del tipo de estabilidad atmosférica.

A	Muy inestable
B	Inestable
C	Ligeramente inestable
D	Neutra
E	Ligeramente estable
F	Estable
G	Muy estable

**Fuente:** Casal *et al.*, (2002)

El tipo de estabilidad atmosférica es una estimación del estado de la atmósfera, que no se puede medir directamente como la temperatura, la presión, la velocidad del viento, etc. Se estima en función de la velocidad del viento y la radiación solar. Esta última es una función del ángulo de incidencia de los rayos del sol sobre la superficie, de la estación del año y de la cantidad de nubes presentes en el momento de su determinación.

- ✓ La temperatura y la humedad relativa: son consecuencia de la estación del año. La humedad del aire solo tiene efectos significativos sobre la dispersión de un contaminante si existe reactividad entre el producto y el vapor de agua contenido en la atmósfera. La humedad tiene otro efecto significativo si el gas que se tiene que dispersar está a una temperatura más baja que la ambiente.
- ✓ La inversión térmica: se caracteriza por un aumento anómalo de temperatura en las capas altas atmosféricas; es decir, a cierta altura (en general, alrededor de 100 metros) la temperatura es superior a la de las capas de aire de cotas más bajas.

Todos estos riesgos expuestos anteriormente se pueden dar de una forma u otra en cualquier instalación industrial. La autora analizará en su investigación el comportamiento de las nubes tóxicas, explosiones confinadas y el BLEVE que puedan estar dados por el diésel y la nafta. Para esto se han desarrollado diferentes programas informativos. A continuación se describen algunos de ellos.

#### **1.4 Softwares que son utilizados para estimar áreas de atmósferas peligrosas.**

##### ➤ SCREEN

EPA, (2004) y Castro. D y Castro. K, (2014) plantean que el modelo de pluma Gaussiano SCREEN fue diseñado por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (US-EPA) 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 la primera fase, según Castro *et al.*, (2013), el modelo proporciona un diagnóstico básico, presentando escenarios con diferentes condiciones meteorológicas en las que la fuente puede impactar con mayor intensidad. Para tal efecto, SCREEN examina todo el rango de clases de estabilidad atmosférica y velocidad del viento, para identificar el peor caso de condiciones meteorológicas y consecuentemente las máximas concentraciones a nivel del piso bajo estas condiciones.

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

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

➤ CALMET y CALPUFF.

El sistema de modelización CALMET y CALPUFF es empleado habitualmente en el estudio de procesos atmosféricos y de contaminación, sin embargo, la mayoría de ellos están basados en experimentos con una gran compilación de medidas meteorológicas en superficie y en altura, pocas veces disponibles. (Hernández *et al.*, 2015).

A través del modelo CALMET, se calculan las estructuras de viento del área de estudio, utilizando métodos de análisis objetivo que buscan una interpolación óptima y extrapolación de observaciones. (Rodríguez *et al.*, 2014).

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

Según Castro *et al.*, (2013) tiene la peculiaridad de incluir un modelo simple de transformación química que permite estudiar y calcular algunas especies secundarias como los sulfatos (SO<sub>4</sub>) y los nitratos (NO<sub>3</sub>), que han tomado mucha relevancia por sus efectos potenciales sobre la salud humana.

➤ DEGADIS

El modelo DEGADIS (*Dense Gas Dispersión Model*) fue desarrollado principalmente para los Guardacostas de Estados Unidos y el Instituto de Investigación del Gas, para la simulación de la dispersión de gases criogénicos inflamables. La implementación de DEGADIS en una computadora personal se

patrocinó por el Instituto de Investigación del Gas y el Instituto Americano del Petróleo. (Castro. D y Castro. K, 2014)

#### ➤ DISPER 5.2

La versión DISPER 5.2 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 y aplicaciones de pesticidas en cultivos. Evalúa de una manera rápida y sencilla la dispersión de cualquier contaminante atmosférico en el aire de menos de diez micras de diámetro, como son: dióxido de nitrógeno, dióxido de carbono, sulfatos, metales pesados, compuestos inorgánicos, clorofluorocarbonados, contaminantes secundarios, compuestos inorgánicos, óxidos, anhídridos, metales contaminantes, ozono, óxido nitroso, benceno, alcanos, compuestos orgánicos, sustancias organolépticas, anhídrido carbónico, amoníaco, monóxido de carbono, hidrocarburos, pesticidas, plomo, arsénico, plaguicidas, compuestos orgánicos volátiles, lluvia ácida, smog, etc.

Además, puede evaluar la contaminación bajo condiciones teóricas extremas (excesiva emisión, vientos fijos). Este *software* fue realizado íntegramente en castellano.

#### ➤ ALOHA

El *software* ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*, en español Localización de Áreas de Atmósferas Peligrosas) fue elaborado por técnicos y especialistas estadounidenses en respuesta a las emergencias ante accidentes químicos. Este programa es capaz de proporcionar la información en situaciones donde haya vertimientos de vapores y gases, calculando el desplazamiento y la dispersión del mismo en la atmósfera. Predice la concentración de los contaminantes en la dirección de los vientos y el tiempo máximo al que pueden

estar sometidas las personas a la nube inflamable dentro de las edificaciones protectoras.

La biblioteca que posee el *software* contiene información acerca de las propiedades físicas de aproximadamente 1 000 especies químicas comunes. Sus cómputos representan un compromiso entre exactitud y velocidad. Además permite minimizar los errores del operador, pues chequea la información que entra el usuario y avisa cuando se comete un error. (Manual de usuario del *software* ALOHA, 2016).

Las distintas fuentes de emisión que considera el *software* ALOHA son:

- ✓ Fuente directa: se emite directamente, es la que considera la emisión a través de una fuente puntual.
- ✓ Fuente derrame: se emite produciendo un charco en la superficie del suelo.
- ✓ Fuente tanque: se emite a través de un tanque por roturas de este o por una pitera.
- ✓ Fuente tuberías de gas: se emite a través de piteras u otras roturas en la tubería de gases.

La autora selecciona el *software* ALOHA por constituir una herramienta que permite la determinación de atmósferas peligrosas, que se originan a partir de diferentes accidentes y además, ser el oficializado por el Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba.

### **1.5 Métodos para la determinación del efecto de la radiación y la sobrepresión sobre las personas.**

Los modelos de consecuencias se usan para calcular el tipo y extensión del daño sobre la salud, resultante de los efectos provocados por cada escenario de accidente. Los efectos dependen del carácter de la sustancia involucrada, manifestándose como concentraciones letales, en el caso de sustancias tóxicas, radiación térmica, como niveles de sobrepresión o alcance de proyectiles. (Fernández, 2008).

Según Domínguez, (2014), 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. En este se parte de una manifestación física de un incidente y nos da como resultado una previsión de los daños a las personas expuestas.

### **1.6 Variables climatológicas.**

El desplazamiento y dispersión de los vapores y gases en la atmósfera depende, en gran medida, de las condiciones meteorológicas existentes en la zona donde ocurre el escape de las sustancias químicas, por lo tanto, es de suma importancia conocer las variables climatológicas más representativas de las mismas.

Moya, (2010) ha realizado estudios climatológicos a lo largo de una década, analizando el comportamiento de la nubosidad, temperaturas máximas y mínimas, humedad relativa y velocidades del viento. Una vez obtenidos los datos, el autor señala que el clima responde a una serie de condiciones físico-geográficas del lugar. La situación geográfica, en la zona tropical, garantiza energía suficiente durante todo el año, para favorecer la ocurrencia de características climáticas tropicales. No obstante, la cercanía a la zona extra tropical y al continente norteamericano, así como la influencia de la zona de altas presiones, garantizan la llegada de condiciones subtropicales, de manera intermitente.

A continuación, se describe el comportamiento de las principales variables climatológicas analizadas.

Nubosidad: Los mínimos de distribución de días nublados se presentan generalmente en las zonas costeras, que es donde ocurre el máximo de días despejados. En las costas de esta región hay más de 100 días al año.

El mes del año con menos nubosidad es abril, los mayores valores de la misma se registran en junio, julio, agosto y septiembre. (Tápanes, 2010).



Estudios realizados por López, (2010) y Nguyen, (2011) señalan que la zona en estudio se caracteriza por una temperatura media anual de 23.8 °C, registrándose los valores más elevados del año en los meses de julio (26.3 °C), y agosto (26.1 °C), mientras los más bajos promedios mensuales se registran en enero (20.6 °C) y febrero (20.5 °C).

El comportamiento del régimen térmico define la zona como de tipo costero, con días cálidos de pequeña oscilación diaria y días frescos. Existen en el año dos períodos definidos, de mayo a septiembre, con un predominio de días muy cálidos, y otro de noviembre a marzo, con días frescos, aunque en ocasiones pueden llegar a ser fríos. Entre ambos aparecen espacios de tiempo donde se entremezclan estas características y que se definen como pequeños períodos de tránsito, quedando definido cuatro épocas fundamentales: un verano, un invierno y dos períodos de transición: uno del invierno al verano y otro del verano al invierno.

La humedad relativa muestra valores elevados durante el año dada la cercanía de la zona a la costa. El promedio anual es de 79 %, con valores medios mensuales superiores a 75 % durante casi todo el año, el mes con menos nubosidad es abril que alcanza un valor del 73 %, mientras que los meses de mayores reportes de humedad relativa son septiembre y octubre, con valores del 84 %. (Orozco, *et al.*, 2019).

Díaz, (2013) plantea que el viento predominante en la zona es del Este con una frecuencia de ocurrencia de 15.7 %, seguido del ENE con una frecuencia de 9.1 %. La suma de la frecuencia de los vientos del primer cuadrante (N-E) y la de los siguientes rumbos cercanos al E, ESE y SE alcanzan un valor de 52.2 %, más un 33 % de frecuencia de las calmas, lo cual deja al resto de los vientos de otros rumbos un 14.8 % de frecuencia de ocurrencia.

López, (2010) realizó el procesamiento estadístico de los datos climatológicos de la zona de estudio. Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo 2.

Según la opinión de la autora de este trabajo, los datos aportados por Moya, (2010), López, (2010) y Nguyen, (2011) referidos a las condiciones climatológicas de la zona de estudio, pueden ser utilizados para la evaluación de áreas de atmósferas peligrosas, dado que los mismos son representativos, lo cual está fundamentado en los estudios realizados por Díaz, (2013).

### **1.7 Conclusiones Parciales.**

- El diésel y la nafta presentan características las cuales deben ser estudiadas para poder estimar los riesgos que le otorgan a la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas y su entorno.
- Los riesgos más probables en las instalaciones industriales que almacenan combustibles son los incendios, explosiones y nubes tóxicas.
- El *software* recomendado para la evaluación de atmósferas peligrosas es ALOHA.
- Las ecuaciones *Probit* son apropiadas para determinar las posibles afectaciones de los distintos escenarios de riesgo que pudieran tener lugar en la entidad.

## **CAPÍTULO 2: Materiales y métodos.**

En este capítulo se realiza una caracterización de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas y de las sustancias objeto de estudio diésel y nafta. Además, se presentan las particularidades del *software* ALOHA para la estimación de las consecuencias de los distintos escenarios de riesgos y se describe la metodología *Probit*.

### **2.1 Caracterización de la UEB.**

La UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas se encuentra ubicada en el kilómetro 4.3, Carretera Zona Industrial, Versalles, Matanzas. La misma tiene como misión la recepción, comercialización y almacenamiento de combustibles garantizando cantidad, plazo, calidad y uso racional. Sus principales mercados son las Termoeléctricas, la Unión del Cemento, la generación de electricidad por Grupos Electrónicos de Diésel y Petróleo Combustible, la Cadena de Servicentros, el Níquel y la red minorista.

La UEB tiene la particularidad de ser la única del país donde se utilizan todas las vías de comercialización, la vía marítima, oleoductos y transporte terrestre (camiones cisternas y tanques de ferrocarril), ya sean a usuarios de la provincia como del resto del país. De estas vías, la más importante es la marítima pues a través de ella se comercializan los mayores volúmenes de combustibles. El 68 % del combustible que sale lo hace por esta vía.

La UEB cuenta con cinco áreas operacionales (Anexo 3):

- ✓ Terminal 320 (T-320): en esta área se operan básicamente los productos blancos, utilizando los carros cisternas y el ferrocarril.
- ✓ Base de Crudo y Suministro (BCS): en la misma convergen los oleoductos de las principales productoras de crudo del país, se operan generalmente los productos negros. Además, se realizan mezclas para mejorar el crudo nativo.

- ✓ Base en Tierra (BT): es el área que abarca más instalaciones, porque a su vez está dividida en varias secciones. El objetivo de la misma es recibir, almacenar, y entregar productos combustibles como el petróleo crudo nativo, nafta y fuel oil.
- ✓ Planta Caribe o Planta de Gas Licuado del Petróleo (GLP): Se dedica a la recepción del gas, el llenado y distribución de botellones a toda la provincia usando las vías terrestres por camiones cisternas y marítima.
- ✓ Área de los Muelles: cuenta con cinco muelles, entre ellos el más grande del país, donde pueden atracar buques de hasta 150 000 toneladas de peso muerto.

Esta instalación cuenta además 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 vertimiento seguros.

Entre los productos blancos o claros se encuentran:

- ✓ Gasolina regular.
- ✓ Gasolina especial.
- ✓ Gasolina de aviación.
- ✓ 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. PCN<sub>M</sub> 1400, 900, 650, 450.
- ✓ Fuel oil. (PCP).
- ✓ IFO: Fuel oil Internacional.

La investigación se realiza en la Terminal 320; la misma cuenta con 28 tanques de almacenamiento de combustibles, dos cargaderos/descargaderos de vagones cisternas de ferrocarril, una estación de bombas de productos claros y oscuros, tres cargaderos de camiones cisternas de productos claros y un descargadero de camiones cisternas.

## **2.2 Caracterización toxicológica de las sustancias a tratar.**

Para la identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial, el primer paso es la caracterización de las sustancias peligrosas que intervienen en el proceso. Según (Orozco, 2018) esta se realiza por la siguiente guía:

### 1. Identificación del producto.

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

### 2. Datos físicos.

- ✓ Apariencia.
- ✓ Punto de ebullición.
- ✓ Punto de fusión.
- ✓ Solubilidad.
- ✓ Densidad.
- ✓ T L V -límite superior de inflamabilidad.
- ✓ IPVS - límite inferior de explosividad.
- ✓ Punto de congelación.
- ✓ Temperatura de autoignición.
- ✓ Coeficiente de expansión.
- ✓ Temperatura de inflamación.
- ✓ Energía mínima de ignición.
- ✓ Solubilidad.

- ✓ Presión de vapor.
- ✓ Biodegradabilidad.
- ✓ Corrosión.
- ✓ Capacidad calorífica.

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

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

4. Peligros para la salud

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

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

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR

**Fuente:** Orozco, (2018).

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

Leyenda:

TA: Toxicidad aguda.

I: Irritación.

SB: Sensibilización.

TDR: Toxicidad por dosis repetida.

MG: Mutagenicidad.

CG: Carcinogenicidad.

C: Corrosión.

TR: Toxicidad para la reproducción.

#### 5. Datos de reactividad.

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

#### 6. Condiciones de almacenamiento y manipulación.

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

## 7. Condiciones para su uso en el proceso.

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

En los Anexos 4a y 4b aparece la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

### **2.3 Características y particularidades del *software* ALOHA.**

El programa ALOHA emplea en sus cálculos dos modelos de dispersión: un modelo Gaussiano para gases ligeros que ascienden rápidamente, y el Degadis para gases densos que se dispersan a ras del suelo. Ambos predicen la velocidad de emisión de vapores químicos que escapan a la atmósfera desde tuberías rotas, fugas de tanques, charcos de líquidos tóxicos en evaporación o directamente desde cualquier otra fuente de emisión. Por tanto, ALOHA es capaz de estimar cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental. En esta investigación se utiliza la versión 5.4.7 del 2018 que aporta resultados confiables.



### Características del *software*:

- ✓ Puede modelar tres categorías de riesgo: la dispersión de gases tóxicos, incendios y explosiones. (Molina, 2011).
- ✓ Modela cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos.
  - Dardos de fuego.
  - Piscinas de fuego.
  - BLEVE.
  - Áreas inflamables.
  - Explosión de una nube de vapor.
- ✓ ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.

### Pasos básicos a la hora de utilizar el ALOHA.

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

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

El Nivel de preocupación (LOC) requiere a su vez de una definición más precisa: se trata de un valor umbral a partir del cual se considera que los seres vivos y bienes materiales dentro de dicha zona se encuentran en peligro. Ese peligro puede ser de varios tipos: toxicidad, inflamabilidad o riesgo de incendio, radiación térmica emitida por un incendio y sobrepresión de una nube de vapor que puede causar una explosión. (ARCOPOL, 2011).

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

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

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

Se utilizan tres valores de LOC, medidos en kW/m<sup>2</sup>.

- Rojo: 10 kW/m<sup>2</sup> (potencialmente letal en 60 segundos).
- Naranja: 5 kW/m<sup>2</sup> (quemaduras de segundo grado en 60 segundos).
- Amarillo: 2 kW/m<sup>2</sup> (dolor en 60 segundos).

En el caso de compuestos inflamables que no han comenzado a arder, ALOHA es capaz de mostrar el área de tres posibles escenarios de peligro: Dispersión de una Nube tóxica (*Toxic Area of Vapor Cloud*), Zonas de Inflamabilidad elevada (*Flammable Area of Vapor Cloud*), explosión si se encendiese una chispa debido a la acumulación de vapores (*Blast Area of Vapor Cloud Explosion*).

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

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

- AEGs (*Acute Exposure Guideline Levels*): representan el umbral límite de exposición para la población en general y son aplicables para períodos de exposición desde 10 minutos a 8 horas. Los valores AEGs están definidos para tres niveles de daño, cada uno se caracteriza por un grado distinto de toxicidad.

AEGL-1: es la concentración de una sustancia química en el aire (expresada en ppm o mg/m<sup>3</sup>) por encima de la cual se predice que la población en general podría experimentar molestias notables, irritación o ciertos efectos sintomáticos. Estos efectos son transitorios, no incapacitantes y reversibles una vez que cesa el período de exposición.

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

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

- ERPGs (*Emergency Response Planning Guidelines*): se desarrollaron como directrices de planificación, para anticipar los efectos adversos sobre la salud humana causados por la exposición a una sustancia química tóxica. Existen tres directrices de daño: ERPG-1, ERPG-2 y ERPG-3. Todas ellas tienen en común que se han determinado para una hora de duración de la exposición al agente químico.

ERPG-1: es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, experimentando sólo efectos adversos ligeros y transitorios o percibiendo un olor claramente definido.

ERPG-2: es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, sin experimentar o desarrollar efectos serios o irreversibles, o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.

ERPG-3: es la máxima concentración en aire por debajo de la cual se cree que casi todos los individuos pueden estar expuestos hasta una hora, sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen su vida.

- TEELs (*Temporary Emergency Exposure Limits*): son niveles de preocupación temporales similares a los ERPG, se utilizan cuando no están disponibles los ERPG para el compuesto químico liberado. Los TEELs se basan en límites de concentración o parámetros toxicológicos, los cuales incluyen una amplia variedad de efectos sobre la salud. Su definición es similar a la de los ERPG, pero difieren en el tiempo de duración de la exposición, los TEEL calculan la concentración promedio durante 15 minutos, y los ERPG tras 1 hora de duración de la exposición.
- IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health*): se trata de un límite originariamente establecido para seleccionar aparatos de respiración automáticos que deban emplearse en ciertos lugares de trabajo. Se define como la concentración en la atmósfera de cualquier sustancia tóxica, corrosiva o asfixiante, que suponga un riesgo inmediato para la vida o pueda causar efectos adversos irreversibles, o interfiera con la capacidad individual para escapar del ambiente peligroso.
- ✓ Zonas de Inflamabilidad elevada (*Flammable Area of Vapor Cloud*).

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

Las zonas de riesgo estimadas por el ALOHA se utilizan para determinar si existen posibles fuentes de ignición en su radio de acción, y el nivel de congestión entendido como la densidad de obstáculos que generan turbulencia dentro de una

nube de vapor, ambos parámetros son necesarios para que se produzca una explosión en la nube de vapor (*vapor cloud explosion*).

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

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

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

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

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

6. Determinar los niveles de riesgo en una ubicación específica.

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

A continuación, se presentan algunas limitaciones del *software* ALOHA. (ARCOPOL, 2011).

- ✓ No tiene en cuenta velocidades del viento muy bajas (inferiores a 1 m/s).
- ✓ No predice correctamente el campo de acción de la nube tóxica si las condiciones atmosféricas son muy estables.

- ✓ Desigualdad de concentración cerca de la fuente de emisión del contaminante.
- ✓ No analiza mezclas de compuestos químicos.
- ✓ Supone que el suelo es plano alrededor del accidente.

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

En este método se parte de una manifestación física de un incidente y nos da como resultado una previsión de los daños a las personas expuestas, es decir, número de heridos y número de víctimas fatales. Se puede emplear para determinar el porcentaje de personas afectadas por radiación térmica, sobrepresión y por intoxicación; en la investigación la autora aborda solamente las dos primeras. (Anexo 6).

### **2.4.1 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.

Las ecuaciones *Probit* para estas consecuencias según Domínguez, (2014) y López, (2017) se desglosan a continuación:

- ✓ 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 (N/m<sup>2</sup>).

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

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

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

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

Donde J es el impulso originado por la sobrepresión durante el tiempo de actuación (N. s/m<sup>2</sup>).

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

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

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

#### **2.4.2 Vulnerabilidad a radiaciones térmicas.**

Se emplea para determinar el porcentaje de personas afectadas por las radiaciones térmicas, en función de la intensidad de irradiación recibida y del tiempo de exposición (dosis de radiación calorífica recibida).

En el caso de fugas de líquidos y gases inflamables con una ignición inmediata, se podrá generar un charco ardiendo, una explosión BLEVE o un chorro con

llamarada. Las lesiones ocasionadas serán causadas principalmente por radiaciones térmicas.

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

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

- ✓ Quemaduras mortales (protegidos con ropas):  
$$Pr = -37,23 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.5$$
- ✓ Quemaduras mortales (sin protección):  
$$Pr = -36,38 + 2,56 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.6$$
- ✓ Quemaduras de segundo grado:  
$$Pr = -43,14 + 3,0188 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.7$$
- ✓ Quemaduras de primer grado:  
$$Pr = -39,83 + 3,0186 \cdot \ln(t \cdot I^{4/3}) \quad 2.8$$

Donde:

t = Tiempo efectivo de exposición (s).

I= Intensidad de irradiación (W/m<sup>2</sup>).

## 2.5 Análisis del Impacto Económico.

Para realizar el análisis económico se debe evaluar la magnitud de las afectaciones en las distintas áreas, para poder determinar cada uno de los equipos afectados. A través del *software* CAPCOST 2006 se puede obtener el valor del costo de adquisición de cada uno. En el caso en que el CAPCOST no permita estimar los costos, por ser capacidades superiores para las cuales está diseñado, se emplea el método del Factor de William o Economía de escala, según Brizuela, (1987), Remer y Idrovo, (1990), para lograr la estimación.



Después se actualizan los costos, empleando el Índice de Costo del año 2018, se asume reposición total y se calcula el costo por reposición de todos los equipos dañados.

## **CAPÍTULO 3: Análisis de los resultados.**

En este capítulo se realiza un análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas del *software* ALOHA, generadas por los distintos escenarios de riesgo. Se determina el número de personas afectadas en la UEB y los Consejos Populares. Además se estiman los costos por reposición total de los equipos en caso de accidentes.

### **3.1 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el *software*.**

La autora 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, a la vez que se toma como valores de temperaturas la media de las máximas y las mínimas, que corresponden al día y a la noche respectivamente, atendiendo a la frecuencia con que soplan los vientos en la zona objeto de estudio; todos estos datos proceden de los resultados obtenidos por Moya, (2010).
2. Se evalúan las direcciones del viento donde operan la mayor cantidad de trabajadores de la UEB y en las que se encuentran los Consejos Populares más poblados ubicados en el municipio de Matanzas (Anexos 7 y 8). 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. Según Díaz, (2013), la estabilidad climatológica debe ser estimada teniendo en cuenta el país y las características de la zona de estudio; se definen de esta manera dos estabilidades: para velocidades del viento mayores que 3 m/s le corresponde la categoría D y para las menores, la F.
4. El diésel se evalúa como el undecano atendiendo a las propiedades físicas que establece el *software* ALOHA y que tienen similitud con las presentadas en las fichas técnicas REPSOL, (2016); YPF, (2012); AXION, (2018) y PEMEX, (2015) y la nafta se evalúa como n-hexano según Roth, (2015).

En la instalación, existen cinco tanques para almacenar diésel (TK1, TK4, TK24, TK25 y TK26) y dos tanques de almacenamiento de nafta (TK16, TK17).

Para el escenario nube tóxica se realiza un estudio de los distintos tanques de almacenamiento de combustibles en el mes de enero en la dirección de viento norte, obteniéndose los siguientes resultados:

**Tabla 3.1:** Evaluación de la nube tóxica para los tanques de almacenamiento de diésel.

Tanques	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)
TK1	-	-	1 300
TK4	-	-	1 200
TK24	-	-	1 200
TK25	-	-	1 200
TK26	-	-	1 200

**Tabla 3.2:** Evaluación de la nube tóxica para los tanques de almacenamiento de nafta.

Tanques	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)
TK16	108	221	-
TK17	171	348	-

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 no varía para los tanques TK4, TK24, TK25 y TK26. En el caso de la nafta, tabla 3.2, las dimensiones de las zonas varían.

5. En el caso del diésel se trabaja solo con los TK1 y TK4 y en la nafta se trabaja con ambos tanques.
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. 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.

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.

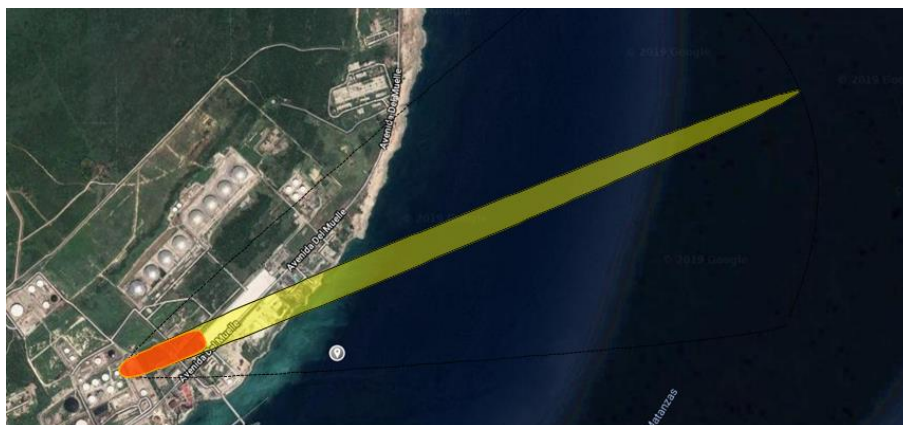
Para predecir el comportamiento de la nube tóxica generada por un derrame de diésel y nafta se aplicó el *software* ALOHA para los meses del año que presentan mayores variaciones en las condiciones atmosféricas y las direcciones del viento establecidas en la segunda condición.

**Tabla 3.3:** Evaluación de la nube tóxica para los tanques de almacenamiento de diésel.

Tanques	Áreas afectadas	Meses
TK1	Base de Crudo y Suministro	E,A,J,O
	Base en Tierra	E,A,J,O
	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio-taller	E,A,J,O
	Muelle	E,A,J,O
TK4	Base de Crudo y Suministro	A,J,O
	Base en Tierra	E,A,J,O
	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio-taller	E,A,J,O
	Muelle	E,A,J,O

Como se muestra anteriormente, para los TK1 y TK4, se pueden afectar las áreas de la UEB en las cuatro estaciones que representan el año, según la extensión de las nubes. En caso de un accidente en el TK1 se afectan todas las áreas en los cuatro meses, siendo el mes de julio el que presenta mayor dimensión en su nube tóxica; además es posible observar que de los locales que se pueden afectar, uno de los que más trabajadores tiene es el laboratorio-taller. Como la nube de diésel es muy larga, pero muy estrecha es necesario agregar una dirección más del viento, el oeste, que es precisamente la que involucra a las oficinas. Su análisis se realiza más adelante.

En la figura 3.1 se muestra que la zona naranja correspondiente al PAC-2, alcanza a una parte del laboratorio-taller, en el que laboran alrededor de 114 trabajadores, los cuales quedan expuestos a una concentración de 26 ppm, la que provoca efectos serios e irreversibles para la salud, que les impide llevar a cabo acciones para protegerse. La zona amarilla no alcanza otra área en específico, pero todo el personal presente en esta dirección del viento en el momento del derrame está expuesto a experimentar efectos adversos ligeros y transitorios, además, en estos casos se puede percibir un olor claramente definido. El área de oficinas se ubica dentro de la línea de confianza en caso de ocurrir alguna variación en las condiciones climatológicas pueden sufrir determinadas afectaciones.



**Figura 3.1:** Comportamiento de la dispersión de una nube tóxica para el diésel en el mes de julio en la dirección del viento WSW.

Como se explicó anteriormente, las características de la nube tóxica del diésel obliga durante el estudio, a establecer una dirección del viento adicional, para poder cumplir con el criterio establecido en la investigación.



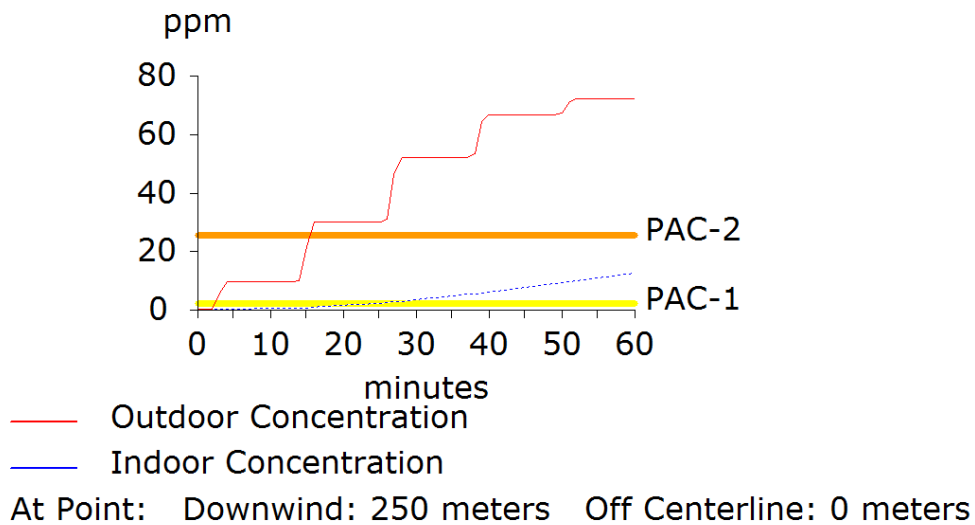
**Figura 3.2:** Comportamiento de la dispersión de una nube tóxica para el diésel en el mes de julio en la dirección del viento W.

Como se puede apreciar anteriormente la zona correspondiente al PAC-2 con una concentración 26 ppm afecta al área de las oficinas, donde los 295 trabajadores experimentan efectos serios e irreversibles o síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección. Esta dirección del viento afecta también a una pequeña parte del laboratorio-taller.

Mediante el *software* ALOHA es posible también predecir el comportamiento de las concentraciones en locales interiores al cabo de 60 minutos.

La figura 3.3 muestra el comportamiento en el laboratorio-taller, que a los 7 minutos aproximadamente de producirse el escape los locales interiores alcanzan una concentración correspondiente al PAC-1, donde las personas pueden experimentar efectos transitorios, no incapacitantes y reversibles como náuseas, vómito, irritación de los ojos, vías respiratorias, etc. La concentración en el exterior de los locales asciende de manera escalonada y alcanza el PAC-1 desde el inicio y cuando transcurren 15 minutos llega a una concentración de 26 ppm correspondiente al PAC-2, donde los individuos desarrollan efectos serios e

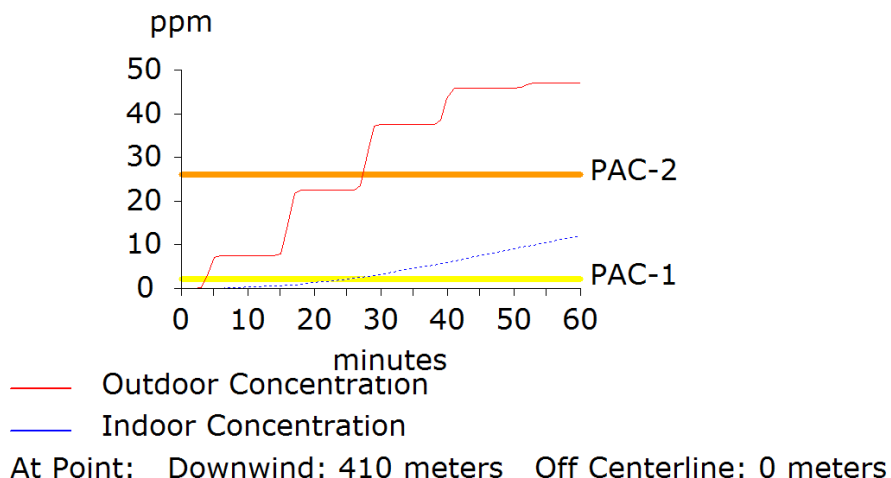
irreversibles, además síntomas que pudieran impedir la posibilidad de llevar a cabo acciones de protección.



**Figura 3.3:** Afectaciones en locales interiores correspondientes al laboratorio-taller ante la nube tóxica de diésel en la dirección del viento WSW.

**Fuente:** ALOHA, (2018).

También se analiza el área de las oficinas en la dirección del viento W. En la figura 3.4 que se muestra a continuación, se observa que a los 18 minutos aproximadamente de ocurrido el derrame, los trabajadores del interior del área de oficinas alcanzan concentraciones propias del nivel PAC-1, mientras en el exterior las concentraciones llegan a tener un valor que hace que los individuos sientan efectos adversos ligeros y perciban un olor claramente definido a los 3 minutos. Al cabo de los 28 minutos la situación en el exterior se hace más peligrosa, pues la concentración del tóxico se corresponde con un nivel PAC-2 donde los efectos son serios o irreversibles.



**Figura 3.4:** Afectaciones en locales interiores correspondientes al área de oficinas ante la nube tóxica de diésel en la dirección del viento W.

**Fuente:** ALOHA, (2018).

De igual forma que en el caso del diésel, se determinan las áreas afectadas por la nube tóxica de nafta. La tabla 3.4 muestra que la nube tóxica generada por el TK17 abarca un área mayor, afectando a las oficinas y al laboratorio-taller.

**Tabla 3.4:** Evaluación de la nube tóxica para los tanques de almacenamiento de nafta.

Tanques	Áreas afectadas	Meses
TK16	Laboratorio-taller	E,A,J,O
TK17	Área de oficinas	E,A,J,O
	Laboratorio-taller	E,A,J,O

En la figura 3.5 se aprecia que el laboratorio-taller se afecta por la zona roja, a la que le corresponde el AEGL-3 con una concentración de 8 600 ppm; todo el personal expuesto pone en riesgo su vida. La zona naranja (AEGL-2), con una concentración de 2 900 ppm afecta a las oficinas; afortunadamente no se daña más ningún local donde se encuentran los operadores de forma directa, aunque no se descarta al personal que se encuentre en el área a la hora del incidente, como tampoco que ante pequeñas variaciones de la dirección del viento se

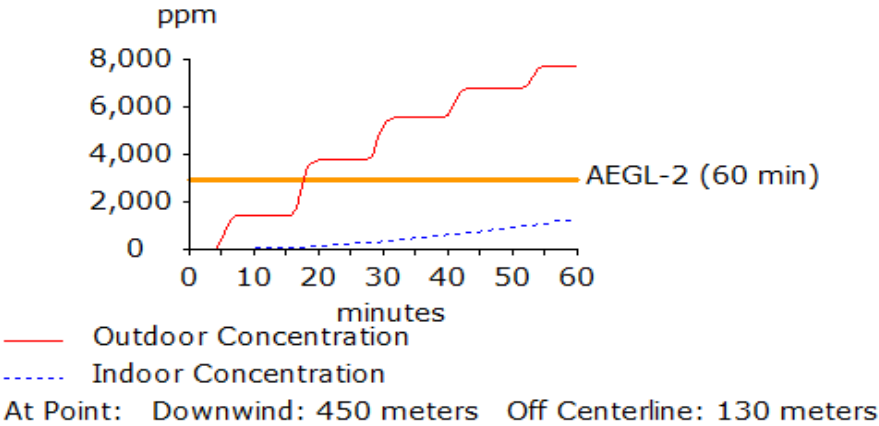


afecten otros locales como: Base en Tierra, la zona de la Bahía de la T-320 y la sala de control del Muelle, que se encuentran dentro de la línea de confianza.



**Figura 3.5:** Comportamiento de la dispersión de una nube tóxica para la nafta en el mes de julio.

A continuación se muestran las afectaciones en los locales interiores provocados por un derrame de nafta. La figura 3.6 representa el comportamiento en las oficinas de la UEB, local que se encuentra a 480 m de la fuente.

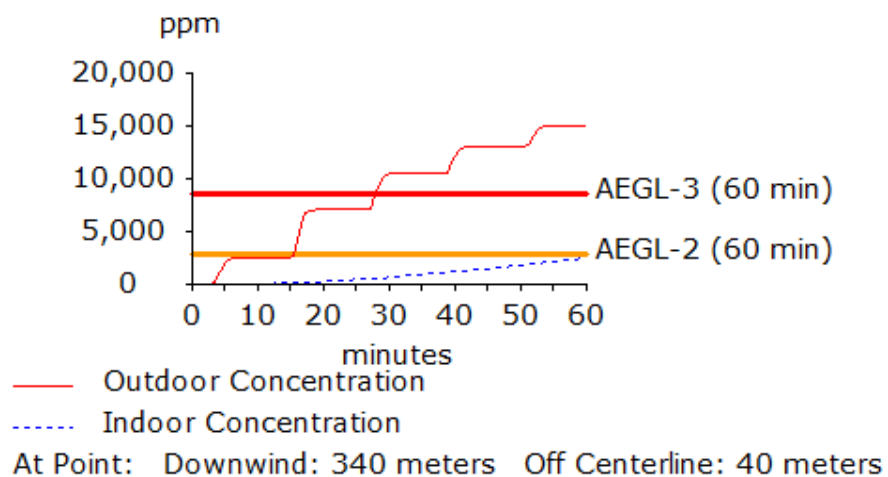


**Figura 3.6:** Afectaciones en locales interiores correspondiente a las oficinas de la UEB ante una nube tóxica de nafta.

**Fuente:** ALOHA, (2018).

Como se observa en la figura anterior, a partir de los 18 minutos aproximadamente del escape, en el exterior de las oficinas, las concentraciones alcanzan valores equivalentes al AEGL-2, los individuos que estén expuestos desarrollan efectos serios e irreversibles, como pueden ser vértigo, somnolencia, náuseas, entre otros, los cuales prácticamente anulan sus esfuerzos para salir de esta situación, según se describe en REPSOL, (2016); YPF, (2012); AXION, (2018) y PEMEX, (2015). En el interior de las oficinas no se alcanza el AEGL-2 en el período de tiempo analizado, por lo que los trabajadores no requieren ayuda del exterior, la que solo puede llegar con personal provisto con medios de protección.

De forma similar se realiza el análisis para el laboratorio-taller, partiendo de lo mostrado en la figura 3.7.



**Figura 3.7:** Afectaciones en locales interiores correspondiente al laboratorio-taller de la UEB ante una nube tóxica de nafta.

**Fuente:** ALOHA, (2018).

En la figura anterior se aprecia que al cabo de 6 minutos aproximadamente de haber ocurrido el derrame, en el exterior las concentraciones alcanzan el AEGL-2, mientras que en el interior alcanza esta concentración al cabo de los 60 minutos; en ese instante la concentración en el exterior es de 15 000 ppm, sobrepasando el

AEGL-3, lo cual resulta letal para los trabajadores que se encuentren en los alrededores del local analizado.

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

Este escenario se evalúa atendiendo a la séptima condición y ocurre solamente para la nafta. En la tabla 3.5 se observa que una explosión en el TK16 no alcanza ningún local, mientras que el TK17 afecta al laboratorio-taller.

**Tabla 3.5:** Evaluación de la explosión de una nube de vapor para los tanques de almacenamiento de nafta.

Tanques	Áreas afectadas	Meses
TK16	-	-
TK17	Laboratorio-taller	E,A,J,O

En la figura 3.8 se observa que no se alcanzan áreas peligrosas, correspondientes a sobrepresiones superiores a 8 psi, asociadas a un umbral LOC-3, donde ocurre la destrucción de edificios. Parte del laboratorio-taller se localiza en la zona naranja, que presenta un nivel de LOC-2, con una sobrepresión de 3.5 psi, que provoca lesiones graves a todo el personal, según ALOHA, (2018). La otra parte del local se ubica en la zona amarilla correspondiente al LOC-1, con una sobrepresión de 1 psi, que puede provocar la rotura de cristales, y traer consigo la demolición parcial del local según Wells, (2003) (Anexo 9). Se observa en la figura que dentro del área enmarcada por la línea de confianza pueden afectarse los tanques de almacenamiento de gasolina de aviación y uno de los tanques de la Base en Tierra, en caso de producirse variaciones pequeñas de la dirección del viento.



**Figura 3.8:** Comportamiento de la explosión de una nube de vapor para la nafta en el mes de julio.

En el caso del diésel, 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 los locales y los diferentes escenarios a partir de los resultados reportados en el Anexo 10.

Según se muestra en el Anexo 11, para estas sustancias almacenadas en la T-320 no se producen afectaciones a los Consejos Populares del municipio de Matanzas (Anexo 12). Los resultados de los escenarios simulados, en esta versión del programa, difieren de otros obtenidos en investigaciones anteriores. La autora considera que estos son más confiables, a partir del uso de una versión más actualizada del *software*.

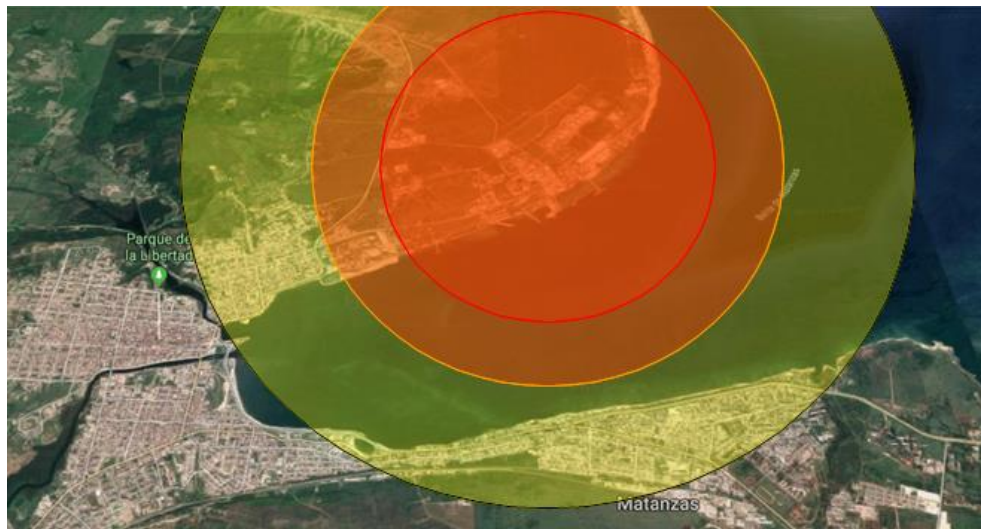
### **3.2.3 Análisis de áreas de atmósferas peligrosas originadas por el BLEVE.**

Otro de los escenarios evaluados para las sustancias estudiadas es el BLEVE.

El BLEVE para el diésel se evaluó en los TK1 y TK4 que presentan una masa de líquido de 5 185 864 y 5 127 040 kg respectivamente. El *software* ALOHA solo

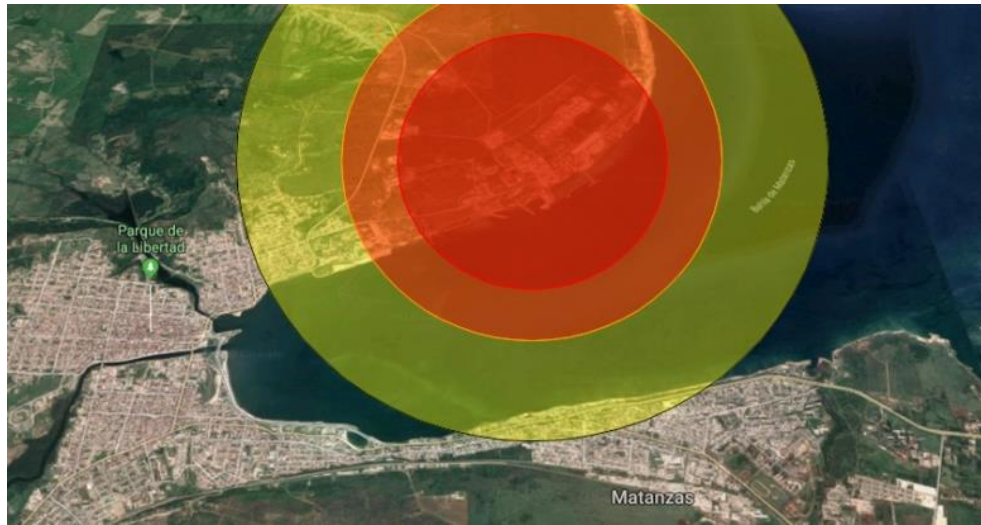
modela situaciones en las que la masa de líquido sea inferior o igual a 5 000 000 kg, lo que indica que un BLEVE solo ocurrirá cuando los tanques se encuentren al 72 y 84 % de su capacidad, respectivamente.

En la figura 3.9 que se muestra a continuación, se aprecia que en la zona roja (la de mayor peligro) se localiza toda la instalación, con un valor de radiación de  $10 \text{ kW/m}^2$ , la cual causa la muerte a todos los trabajadores. La zona de quemaduras de primer grado afecta a gran parte de la población de Versailles, la Playa y Peñas Altas, que se ubican a 3 510, 3 770 y 3 720 metros de la fuente respectivamente, afectando a 57 277 habitantes aproximadamente. Además, es necesario tener en cuenta que se pueden afectar más personas si se encuentran en esta zona a la hora del accidente. En el anexo 13a se muestran las dimensiones de las áreas generadas por este escenario.



**Figura 3.9:** Comportamiento de la radiación originada por el BLEVE para el diésel.

De forma similar se analiza el BLEVE para los tanques de nafta. La figura 3.10 muestra que el nivel de radiación correspondiente a la zona roja también afecta a toda la UEB, y los niveles de radiación asociados a la zona amarilla, que corresponde con las quemaduras de primer grado, dañan a los habitantes de Versailles, la Playa y Peñas Altas. En el anexo 13b se muestran las dimensiones de las áreas generadas por este escenario.



**Figura 3.10:** Comportamiento de la radiación originada por el BLEVE para la nafta.

Para el escenario BLEVE se observa que las dimensiones de las zonas de riesgo dependen de las características del recipiente de almacenamiento; siendo los tanques de diésel de mayor capacidad que los de nafta, por lo que originan una zona superior de peligro.

### **3.3. Análisis de resultados alcanzados por *Probit*.**

Este método permite evaluar los daños a las personas expuestas a un determinado incidente, a partir de los efectos de la radiación, sobrepresión y la inhalación de sustancias tóxicas. La autora en la investigación analiza solo los efectos causados por la sobrepresión y radiación térmica.

#### **3.3.1 Análisis de vulnerabilidad a explosiones.**

Para el análisis de vulnerabilidad a explosiones se toma el escenario de una nube de vapor de nafta, analizada en el epígrafe 3.2.2.

A continuación se muestra en la tabla 3.6 las afectaciones por sobrepresión, donde se observa que el local afectado es el laboratorio-taller.



**Tabla 3.6:** Afectaciones obtenidas por *Probit* para el escenario VCE para la nafta.

Local afectado	Sobrepresión (psi)	Afectaciones							
		Muerte por lesiones pulmonares		Rotura de tímpano		Muerte por impacto del cuerpo		Lesiones por impacto del cuerpo	
		Valor Pr	Nº afect.	Valor Pr	Nº afect.	Valor Pr	Nº afect.	Valor Pr	Nº afect.
Lab-taller	2,97	-8,50	0	3,56	9	1,75	0	5,08	60

La sobrepresión generada por este escenario no provoca muertes por lesiones pulmonares, ni por impacto del cuerpo a los trabajadores de dicho local. Aproximadamente 9 sufrirán rotura de tímpano y 60 lesiones por impacto del cuerpo, según Domínguez, (2014).

### 3.3.2 Análisis de vulnerabilidad a radiaciones térmicas.

Las tablas 3.7 y 3.8 muestran las afectaciones obtenidas por *Probit* en la UEB para el escenario BLEVE, para el diésel y la nafta. Sus áreas de peligro aumentan en comparación con el escenario analizado anteriormente; afectando a todos los locales de la UEB.

**Tabla 3.7:** Afectaciones obtenidas por *Probit* en la UEB para el escenario BLEVE para el diésel.

Local afectado	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (protegidos con ropas)		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.
GLP	8,62	4,18	5	5,03	14	5,69	20	9,00	26
BT	41,4	9,54	21	10,39	21	12,01	21	15,32	21
Muelle	60,3	10,82	49	11,67	49	13,52	49	16,83	49

De acuerdo con los índices de *Probit*, en el caso de la Planta de Gas Licuado, de las 26 personas que en ella laboran, todas pueden sufrir quemaduras de primer grado, y de ellas 20 pudieran llegar a tener quemaduras de segundo grado. En

relación con las quemaduras mortales, 14 pudieran llegar a sufrirlas, y si estuvieran protegidas con ropas especiales, solo 5 trabajadores se afectarían en este sentido, lo cual no es lo habitual pues los accidentes son inesperados.

La Base de Crudo, el área de oficinas, y el laboratorio-taller son locales que no se muestran, pues se ubican dentro de la bola de fuego, lo que significa que el 100 % del personal presente sufrirá una radiación letal.

La tabla que se muestra a continuación reporta los resultados del escenario BLEVE para la nafta, donde serán afectados el 100 % del personal ubicado en áreas como Base en Tierra, las oficinas y el Muelle. En la Planta de Gas Licuado, los 26 trabajadores que laboran sufrirán quemaduras de primer grado, de ellos 9 pueden padecer quemaduras de segundo grado; las quemaduras mortales con y sin protección pueden afectar 1 y 5 personas respectivamente.

**Tabla 3.8:** Afectaciones obtenidas por *Probit* en la UEB para el escenario BLEVE para la nafta.

Local afectado	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (protegidos con ropas)		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.
GLP	6,54	3,24	1	4,09	5	4,58	9	7,89	26
BT	27,9	8,19	21	9,04	21	10,42	21	13,73	21
Oficinas	70	11,33	295	12,18	295	14,12	295	17,43	295
Muelle	46,3	9,92	49	10,77	49	12,46	49	15,77	49

Atendiendo a que la UEB resulta ser una empresa abierta con presencia de trabajadores en las diferentes áreas de la misma, se realiza un análisis de la radiación mínima para la cual terminan dañadas todas las personas que se encuentran situadas a las distancias correspondientes.



**Tabla 3.9:** Distancias en las cuales las afectaciones son máximas para el escenario BLEVE.

Afectaciones	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Distancia (m) Diésel	Distancia (m) Nafta
Quemaduras mortales (con ropas de protección)	27.2	1 115	974
Quemaduras mortales (sin ropas de protección)	21.2	1 290	1 124
Quemaduras de segundo grado	15.7	1 520	1 325
Quemaduras de primer grado	6.9	2 322	2 016

La tabla anterior muestra, en el caso del diésel, que para una distancia de 1 290 metros, todo el personal de la UEB sufrirá quemaduras mortales. Para la nafta, la distancia para la cual se produce el máximo de muertes por quemaduras es de 1 124 metros.

De forma similar se analizan las afectaciones del escenario BLEVE para los Consejos Populares del municipio de Matanzas. Las tablas 3.10 y 3.11 muestran dichas afectaciones.

**Tabla 3.10:** Afectaciones obtenidas por *Probit* para los Consejos Populares del municipio de Matanzas para el escenario BLEVE para el diésel.

Consejo Popular afectado	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (protegidos con ropas)		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.
Playa	2,76	0,30	0	1,15	0	1,11	0	4,42	3 674
Versalles	3,21	0,81	0	1,66	0	1,72	0	5,03	10 113
Peñas Altas	2,84	0,39	0	1,24	0	1,23	0	4,53	7 785

**Tabla 3.11:** Afectaciones obtenidas por *Probit* para los Consejos Populares del municipio de Matanzas para el escenario BLEVE para la nafta.

Consejo Popular afectado	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Afectaciones							
		Quemaduras mortales (protegidos con ropas)		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.
Playa	1,98	-0,84	0	0,01	0	-0,23	0	3,08	394
Versalles	2,35	-0,25	0	0,60	0	0,46	0	3,77	2 181
Peñas Altas	3,68	1,28	0	2,13	0	2,27	0	5,58	17 516

Las tablas anteriores muestran que los Consejos Populares solo se verán afectados por quemaduras de primer grado. Para el caso del diésel, la zona de mayor número de afectados será Versalles, y para la nafta, Peñas Altas.

### 3.4 Análisis del Impacto Económico.

La afectación económica por incendio o explosión, como escenarios más nocivos que aparecen por derrame de sustancias químicas, originan pérdidas totales, que incluyen tanto las que se producen por destrucción total de los equipos, por detección del proceso productivo, así como las pérdidas por reposición de los equipos destruidos. Se ofrece en este trabajo un estimado de las pérdidas por reposición, atendiendo al criterio de Wells, (2003), en relación con los daños de sobrepresión y a los señalados por López, (2017) en cuanto a la afectación para determinados niveles de radiación (Anexo14).

En la figura 3.8 se puede observar el efecto de sobrepresión originado por la explosión de una nube de vapor de nafta sobre los tanques ubicados al ENE de la fuente y se determina que solo se afecta el TK1 de almacenamiento de diésel con una sobrepresión de 4.04 psi, en la cual ocurre la ruptura del tanque según Wells,

(2003). De acuerdo con lo anterior, se requiere hacer la reposición total del mismo lo cual representa un gasto de \$ 597 024.

En la figura 3.9 se muestra el área generada por un escenario de BLEVE que ocurre en el tanque de 9 285 m<sup>3</sup> de diésel, que en este caso compromete seriamente a todas las instalaciones de la UEB.

Para demostrar la magnitud de la afectación económica que este tipo de accidente provoca, la autora de esta investigación muestra en el anexo 15 el número de tanques y equipos que se destruyen totalmente 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 a reponer por área.

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

Áreas	Costo por reposición (\$)
Terminal 320	8 988 872
Base de Crudo y Suministro	13 767 635
Base en Tierra	17 951 296
Total	40 707 803

La pérdida por destrucción total de los equipos, debe esperarse que sea algo menor que el total anteriormente mostrado, pues para obtenerla debe descontársele el fondo de amortización acumulado al costo de los equipos en el momento en que fueron adquiridos. Si a estas pérdidas se le suma la pérdida por interrupción en la producción, se puede obtener la pérdida económica total en la UEB ante la ocurrencia de este tipo de accidente.

Si a la pérdida económica total en la UEB, se agregan otras afectaciones intangibles por daños 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.

- Las mayores áreas de atmósferas peligrosas son generadas por el escenario BLEVE.
- La nube tóxica es el segundo escenario de mayor magnitud, y en el caso del diésel se afectan todas las áreas de la UEB, menos la Planta de Gas Licuado.
- La formación de una nube tóxica de diésel afectaría ligeramente al personal que se encuentre en el interior del laboratorio-taller y las oficinas.
- Una nube tóxica de nafta que alcanza el interior de las oficinas hará que el personal sufra efectos ligeramente nocivos a su salud, mientras que causará daños más severos al personal presente en el interior del laboratorio-taller.
- Los efectos de las nubes tóxicas no alcanzan las regiones de los Consejos Populares del municipio de Matanzas.
- La explosión de una nube de vapor de la nafta solamente puede afectar al laboratorio-taller.
- El BLEVE originado por ambas sustancias, provoca daños serios en toda la región donde está ubicada la UEB y daños menores en algunos Consejos Populares.
- De todos los escenarios analizados por *Probit* las mayores afectaciones son las que desencadena el BLEVE del diésel.
- 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 determinó el área 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 principales resultados:
  - ✓ La nube tóxica en la dirección del viento WSW afecta a la mayor cantidad de trabajadores de la UEB.
  - ✓ Las nubes tóxicas evaluadas en las direcciones de los Consejos Populares nunca alcanzan la región donde están ubicados los mismos.
  - ✓ De los locales interiores analizados el más afectado es el laboratorio-taller, cuando se trata de una nube tóxica de nafta.
  - ✓ La explosión de una nube de vapor solo afecta al laboratorio-taller con una sobrepresión de 2,97 psi.
4. De los escenarios analizados por *Probit* las mayores afectaciones están dadas por el BLEVE para el diésel, que puede llegar a ocasionar la pérdida de 523 vidas humanas en la UEB y quemaduras de primer grado a 21 572 personas del entorno poblacional.
5. Las afectaciones económicas causadas por el BLEVE para el diésel, provocan una pérdida por concepto de reposición total de equipos de \$ 40 707 803.

## 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.
2. Determinar las pérdidas económicas totales atendiendo a todos sus componentes.
3. Realizar las evaluaciones a partir del empleo de la versión más actualizada del *software* en otras plantas químicas del territorio, incluyendo el área de la Planta de Gas Licuado perteneciente a la UEB.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Abbasi, T; Pasman, H.J. y Abbasi, S.A (2010).A scheme for the classification of explosions in the chemical process industry. *Journal of Hazardous Materials* 174 (2010) 270–280. [en línea]. [Consulta: 16 Enero 2019].Disponible en: [www.elsevier.com/locate/jhazmat](http://www.elsevier.com/locate/jhazmat).
2. ARCOPOL. (2011). Manual de usuario ALOHA. Editorial METEOGALICIA-UE. Galicia.
3. Aven, T.; Ben-haim, Y.; Andersen, H.; Cox, T.; López, E.; Guikema, S.; Kroeger, W.; Renn, O.; Thompson, K. M. y Zio, E. (2015). Sra glossary. The Society For Risk Analysis.
4. AXION ENERGY. (2018). Ficha de datos de seguridad. Diésel grado 21500 B1-B20 versión: 1. Buenos Aires. Argentina.
5. 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. y 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.
6. Brizuela E. (1987). Diseño de Plantas Químicas. Tomo I. p 96 – 122 y 144 – 171.
7. Casal, J.; Montiel, H.; Planas E. y Vílchez J.A. (2002).Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Barcelona: Editorial UPC. 361 p.
8. Castro, D. y Castro, K. (2014). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Central Termoeléctrica Antonio Guiteras de Matanzas. Universidad de Matanzas.
9. Castro, D.; Luis, J.D. y 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://monografías.umcc.cu/monos/2013/Facultad de Ingenierías.pdf>

10. Colectivo de autores. (1999). Evaluación de riesgos químicos. PNUMA/IPCS. ONU.
11. Cuautle, N.J. (2007). Determinación del riesgo de afectación al acuífero de la ciudad de México, por la operación de una estación de autoabasto de combustible para unidades de transporte Terrestre. México, D.F. 99 h. Maestría en Ingeniería Ambiental.
12. 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.
13. Domínguez, J.R. (2014). Análisis Cuantitativo de Riesgos en el ámbito de la Protección Civil: aplicación a una instalación de almacenamiento de productos químicos. Sevilla. 160 h. Trabajo fin de grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales. Universidad de Sevilla.
14. EPA (2004). Guía del Usuario del Modelo SCREEN 3 U.S. Agencia de Protección Ambiental (EPA). [en línea]. [Consulta: 6 Febrero 2019] Disponible en: [www.epa.gov/ttn/catc/dir2/scrn3ds.pdf](http://www.epa.gov/ttn/catc/dir2/scrn3ds.pdf).
15. 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.
16. Febles, M. (2015). Evaluación de las áreas de atmósferas peligrosas, mediante el uso del software ALOHA en el gasoducto que abastece de gas licuado del petróleo a la planta Caribe. Matanzas. 122 h. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas.
17. Fernández, P. (2008). Módulo: Gestión medioambiental y técnicas afines. Modelos de cálculo de efectos y análisis de consecuencias. 78 p. Madrid. España.
18. Ferrero, F. (2006). Incendios de hidrocarburos: Estudio de la formación y evolución del *boilover* capa fina. Barcelona. 61 p. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya.



19. Gabarrell, X. (2008). Evaluación y prevención de riesgos industriales. Girona (España).
20. Galán, S. (2012). Explosión de equipos a presión. Análisis de riesgo y consecuencias. Catalunya. 152 h. Proyecto final para la obtención del título de Ingeniero Técnico Naval, especialidad en Propulsión y Servicios de Buque. Universidad politécnica de Catalunya.
21. García, N. (2013). Optimización de la operación del reformador catalítico de nafta instalado en la refinería de petróleo Camilo Cienfuegos. Trabajo final en opción al Título Académico de Especialista en Tecnologías de refinación de petróleo. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas. Cuba.
22. Gyenes, Z; Wood, M y Struckl, M. (2017). Handbook of Scenarios for Assessing Major Chemical Accident Risks. EUR 28518 EN. DOI: 10.2760/884152.
23. Hemmatian, B. (2016). Contribution to the study of Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion and their mechanical effects. España. 172 h. Tesis en opción al título de doctor en filosofía en la Ingeniería Química. Universidad Politécnica de Barcelona. [en línea]. [Consulta 17 de enero 2019]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/98087/TBH1de1.pdf;jsessionid=15CE30E7206F592198F54D6350438ADF?sequence=1>.
24. Hemmatian, B.; Planas, E. y Casal, J. (2016). On BLEVE definition, the significance of superheat limit temperature (Tsl) and LNG BLEVE's. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 40, 81.
25. Hernández, A.; Souto, J.A.; Rodríguez, A.; Saavedra, S. y Casares, J.J. (2015). Validation of CALMET/CALPUFF models simulations around a large power plant stack. Física de la Tierra, Vol. 27, 35-55 p. [en línea]. [Consulta: 26 de enero del 2019]. Disponible en: [http://dx.doi.org/10.5209/rev\\_FITE.2015.v27.51192](http://dx.doi.org/10.5209/rev_FITE.2015.v27.51192).
26. 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.

27. Landquist, H. (2016). Environmental risk assessment of shipwrecks. Model development and application. Suecia. 72 h. Thesis for the degree of doctor of philosophy. Suecia. [en línea]. [Consulta 23 de enero 2019]. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/48e2/ffcc9432d4c1cb1909d13a346e6e44e8aa92.pdf>.
28. Loaiza, M.; Rodríguez, G.; Valverde, Y.; Gurdián, R. y Chaves, C.M. (2015). Manual de productos. Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) [en línea]. [Consulta: 15 Febrero 2019]. Disponible en: [https://www.recope.go.cr/Manual\\_productos\\_RECOPE\\_2015.pdf](https://www.recope.go.cr/Manual_productos_RECOPE_2015.pdf)
29. 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 de Barrancabermeja-Ecopetrol S.A. Bucaramanga. 122 p.
30. 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.
31. López, J. (2017). Análisis cuantitativo de riesgos de tuberías de transporte de sustancias peligrosas. 107 h. Trabajo de fin de grado en Ingeniería Química. Barcelona. España.
32. 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.
33. Manual de usuario del software ALOHA. (2016). [en línea]. [Consulta: 6 Febrero 2019] Disponible en: [www.fiqm.umcc.cu](http://www.fiqm.umcc.cu).
34. Molina, V. (2011). Minimización del riesgo ambiental en la industria de Galvanoplastia. 122 h. Tesis para obtener el grado de maestro en Ciencias en Ingeniería Ambiental. Instituto Politécnico Nacional Secretaría de Investigación y Posgrado. México, D.F.
35. Motwali, E.G. (2010). Boiling Liquid Expanded Vapor Explosion (BLEVE) of petroleum storage and transportation facilities. Sudán. 92 h. Tesis de maestría.

36. Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.
37. Nguyen, M. (2011). Determinación de áreas de peligro potencial que pueden originarse, por incendios y/o explosiones, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Trabajo de diploma presentado en opción al Título del Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas. Cuba.
38. Nwabueze, D. (2016). Liquid hydrocarbon storage tank fires- How prepared is your facility? Chemical Engineering Transactions [en línea]. Vol. 48, p 301-306. [Consulta: 23 enero 2019]. DOI: 10.3303/CET1648051. Disponible en: [www.aidic.it/cet](http://www.aidic.it/cet).
39. Orozco, J.L.; Van Caneghem, J.; Hens, L.; González, L.; Lugo, R.; Díaz, S. y Pedrosa, I. (2019). Assessment of an ammonia incident in the industrial area of Matanzas. [en línea]. Production 222, p 934-941. [Consulta: 16 abril del 2019]. Disponible en: [www.elsevier.com/locate/jclepro](http://www.elsevier.com/locate/jclepro).
40. Pastrana, J. (2014). La metodología HAZOP aplicada al análisis de riesgos. México. 144 h. Tesis para obtener el título de Ingeniero Petrolero.
41. PEMEX. (2008). Protección de áreas y tanques de almacenamiento de productos inflamables y combustibles. México. 59 p.
42. PEMEX. (2015). Ficha de datos de seguridad. Diésel HDS-PEMEX-TRI-SAC-12 Número Versión 1.0. México.
43. Piedra, G. y Valdivieso, T. (2013). Evaluación del riesgo de incendio y explosión en una línea de extrusión de polietileno expandido. Ecuador. 164 h. Tesis previa a la obtención del grado de magister en Sistemas Integrados de Gestión de la Calidad, Ambiente y Seguridad. Universidad Politécnica Salesiana.
44. Remer, D.S. y Idrovo, J.H. (1990). Cost Estimating Factors for Biopharmaceutical Process Equipment, BioPharm. 36-42 p.
45. REPSOL. (2016). Ficha técnica. Diésel B5 (DB5-S50). Lima. Perú.
46. Rodríguez, J.L.; Angulo, L.C.; Restrepo, G. y Rojano, R. (2014). Evaluation of the models CALMET and CALPUFF in two sites topographically different in the coal mining zone of department of Cesar, Colombia. [en línea]. [Consulta: 26

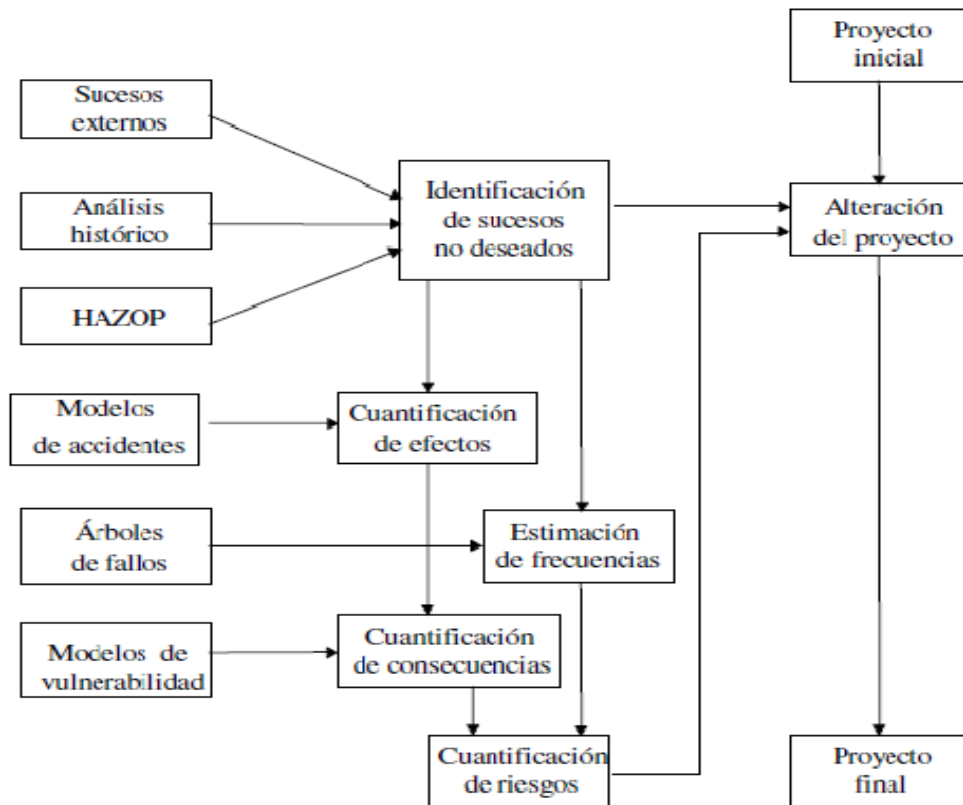
de enero del 2019]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/269706673\\_Evaluation\\_of\\_the\\_models\\_CALMET\\_and\\_CALPUFF\\_in\\_two\\_sites\\_topografically\\_differents\\_in\\_the\\_coal\\_mining\\_zone\\_of\\_department\\_of\\_Cesar\\_Colombia](https://www.researchgate.net/publication/269706673_Evaluation_of_the_models_CALMET_and_CALPUFF_in_two_sites_topografically_differents_in_the_coal_mining_zone_of_department_of_Cesar_Colombia).

47. Rosero, J.A. (2015). Identificación y evaluación de riesgo de incendio y explosión en el área de almacenamiento de productos líquidos, tanque 1020, simulación de efectos en caso de emergencia. Quito. 53 h. Para la obtención del título de ingeniero en seguridad y salud ocupacional. Universidad internacional SEK.
48. ROTH 2015. Ficha de datos de seguridad. Nafta (petróleo), fracción ligera tratada con hidrógeno  $\geq 95\%$  (isomers), for synthesis. Número de artículo: 7782. Versión: 1.0. Alemania.
49. Sánchez, M. (2016). Curso Análisis de Riesgos Industriales en Plantas Químicas y Petroleras. Método HAZOP (XVI Edición). Puertollano.
50. Tápanes, Y. (2010). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Empresa Comercializadora de Combustibles, Matanzas a partir de posibles accidentes con productos tóxicos. Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Matanzas. Cuba.
51. Tauseef, S.M.; Abbasi, T. y Abbasi, S.A. (2010). Risks of fire and explosion associated with the increasing use of liquefied petroleum gas. [en línea]. P 322-333. [Consulta: 16 abril del 2019]. DOI 10.1007/s11668-010-9360-9.
52. Vílchez, J.A. y Pérez, X. (2001). Análisis de riesgos ambientales y aplicación al diseño de instalaciones industriales. Trámites, Informes y Proyectos, S.L. Barcelona.
53. 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](http://www.aidic.it/cet).
54. Wells, G. (2003). Major Hazards and their management. Gulf Publishing Company. Houston, Texas. 315 p.

55. YPF. (2012). Ficha técnica. Diésel 500. Yacimientos Petrolíferos Fiscales. (YPF). Buenos Aires. Argentina.
56. Zambrano, S.; Tarantino, R.; Aranguren, S. y 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: Análisis de riesgo.



**Anexo 2:** Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio en la década 2000-2009.

**Tabla 2a.** Comportamiento de los valores medio de la **nubosidad** para el periodo estudiado.

<b>AÑO/MES</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
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
<b>Media</b>	4	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	4
<b>coef.variac</b>	17.996	17.996	13.845	15.1882	21.356	15.7135	10.2776	15.891	15.891	18.7812	11.7121	16.6667
<b>desv.estand</b>	0.7378	0.7378	0.5676	0.5163	0.8755	0.7071	0.483	0.6992	0.6992	0.7888	0.527	0.6666

**Anexo 2.** Continuación.

**Tabla 2b** Comportamiento de los valores medio de la **temperatura máxima** para el periodo estudiado.

<b>AÑO/MES</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2000</b>	26	25.7	28	29.6	30.5	30.4	31.3	31.2	30.7	29.2	27.2	26.4
<b>2001</b>	27	26.8	27.5	28.7	30.9	29.7	31.9	30.9	31.6	29	26.5	26.6
<b>2002</b>	26.5	25.7	28	29.9	29.7	30.7	30.8	31.9	30.8	28.5	27.2	26.5
<b>2003</b>	25.4	25.9	28.4	30.3	30.5	30.8	31.9	31.8	29.5	28.8	27.6	27.4
<b>2004</b>	25.5	26.5	28.2	29.3	31.8	29.5	31.5	30.9	30.7	29.5	27.9	27.3
<b>2005</b>	26.7	25.8	28.8	30.9	30.8	31.8	30.9	31.8	31.7	30.5	26.6	25.8
<b>2006</b>	25	27	28.4	28.9	30.9	31.5	31.8	30.9	29.9	30.6	27.5	26.9
<b>2007</b>	26.6	24.5	28	29.2	31.6	29.9	31.6	30.9	30.9	29.8	28.8	27
<b>2008</b>	25.9	25.9	28.1	29.8	30.9	30.5	30.9	30.8	31.9	29.5	26	26.5
<b>2009</b>	26.9	25.4	28.6	30.5	31.8	30.6	31.7	31.9	30.5	30	27.9	25
<b>Media</b>	26.15	25.92	28.2	29.71	30.94	30.54	31.43	31.3	30.82	29.54	27.32	26.54
<b>coef.variac</b>	2.6448	2.7808	1.3056	2.3929	2.1177	2.3972	1.3668	1.5506	2.4842	2.3572	2.9726	2.6949
<b>desv.estand</b>	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 2.** Continuación.

**Tabla 2c:** Comportamiento de los valores medio de la **temperatura media** para el periodo estudiado.

<b>AÑO/MES</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2000</b>	20.7	20.6	22.6	24.3	25.5	25.8	26.4	26.2	25.6	24.7	22.8	21.3
<b>2001</b>	22.6	21.7	23	25.4	25.8	28	27.4	25	24.8	24.6	22.8	22.7
<b>2002</b>	19.8	19.6	24	25.6	26.6	24.5	27	26.6	26.4	23.5	19.8	20.8
<b>2003</b>	20.1	20.2	22.8	24.9	26.4	24.9	26	25.9	26.6	23.8	22	21.5
<b>2004</b>	19.9	21.2	19.8	22.6	24.8	25.4	26.6	26.9	25.8	25.7	23.8	20.8
<b>2005</b>	19.8	19.7	23.8	25.7	24.3	25.8	25.8	26.7	24.6	25.7	24	19.8
<b>2006</b>	21.2	20.5	22	22.8	26.8	26.5	26.2	25.5	26.8	25.6	23.5	22.6
<b>2007</b>	20.8	21	24.1	23.5	23.9	24.2	25	25.4	23.9	24.9	23.6	19.9
<b>2008</b>	22.4	21.4	19.9	24.6	24.9	25.7	26	26.5	24.9	23.8	20.9	21.6
<b>2009</b>	18.8	19.9	23.6	22.9	25.5	26.8	27	27	25.7	23.9	24.1	20.9
<b>media</b>	20.6	20.5	22.5	24.2	25.4	25.7	26.3	26.1	25.5	24.6	22.7	21.2
<b>coef.variac</b>	5.8109	3.5618	6.9811	4.9603	3.8464	4.3965	2.6557	2.6354	3.7117	3.4507	6.3009	4.5940
<b>desv.estand</b>	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 2.** Continuación.

**Tabla 2d:** Comportamiento de los valores medio de la **temperatura mínima** para el periodo estudiado.

<b>AÑO/MES</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2000</b>	15.6	15.5	17	18.5	20.6	21.7	21.8	21.7	21.6	20.7	18.6	16.5
<b>2001</b>	16.2	16.2	16.8	18.4	19.5	22.2	23.5	22.5	21.8	19.3	18.7	16.6
<b>2002</b>	16.1	16.1	18.5	18.5	21.3	22.5	22.5	21.7	21.6	21.3	18.4	17.2
<b>2003</b>	15.8	15.5	17	18.5	20.1	21.6	23.1	20.8	21.7	20.1	19.5	16.5
<b>2004</b>	15.9	15.4	16.6	19.5	20.3	21.7	20.9	21.9	20.8	20.5	19.3	15.8
<b>2005</b>	15.3	14.8	17.3	17.8	21.7	20.9	21.7	22	22.5	21.5	17.6	15.9
<b>2006</b>	14.9	15.4	16.8	17.9	19.8	20.8	20.8	22.8	21.9	20.9	18.5	17.2
<b>2007</b>	15.6	15.9	17.1	18.9	21.6	22.8	21	20.9	20.9	21.4	18.9	16.6
<b>2008</b>	15.8	16	17.5	19.2	21.5	21.9	21.9	21.6	22.5	21.7	19.5	16.7
<b>2009</b>	16	15.2	16.9	18.8	20.5	22	22	22.2	21.8	20.6	18.2	17
<b>media</b>	15.7	15.6	17.1	18.6	20.7	21.8	21.9	21.8	21.7	20.8	18.7	16.6
<b>coef.variac</b>	2.487	2.834	3.149	2.833	3.822	2.887	4.146	2.887	2.573	3.511	3.222	2.868
<b>desv.estand</b>	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 2.** Continuación.

**Tabla 2e:** Comportamiento de los valores medio de la **humedad relativa** para el periodo estudiado.

<b>AÑO/MES</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>2000</b>	<b>78</b>	<b>75</b>	<b>74</b>	<b>73</b>	<b>78</b>	<b>83</b>	<b>81</b>	<b>82</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>81</b>	<b>79</b>
<b>2001</b>	79	74	74	74	77	84	79	83	83	84	82	78
<b>2002</b>	78	76	74	72	78	83	80	81	83	83	81	80
<b>2003</b>	79	74	75	74	79	82	83	83	84	84	82	79
<b>2004</b>	77	75	73	73	77	82	81	83	85	85	81	78
<b>2005</b>	78	75	74	73	78	84	82	82	83	83	83	80
<b>2006</b>	78	76	75	72	79	83	81	81	84	83	80	80
<b>2007</b>	78	75	73	74	79	83	82	82	84	85	79	78
<b>2008</b>	76	74	73	72	78	82	81	81	85	85	80	79
<b>2009</b>	79	76	75	73	77	84	80	82	85	84	81	79
<b>Media</b>	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
<b>coef.variac</b>	1.2087	1.0886	1.1033	1.1184	1.0467	0.9837	1.4255	0.9957	0.972	0.972	1.4255	1.0335
<b>desv.estand</b>	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 2.** Continuación.

**Tabla 2f:** Comportamiento de los valores medio de la velocidad y frecuencia de ocurrencia de los vientos para la década 2000 - 2009.

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

**Fuente:** Moya, (2010).

### Anexo 3: 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-taller.
6. Muelle.

## **Anexo 4:** Caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

### **Anexo 4a:** Caracterización del Diésel.

#### Identificación del producto.

- Nombre del producto: Diésel.
- Formula Química: Está compuesto por un 75 % de hidrocarburos saturados (tal como las parafinas, isoparafinas y cicloparafinas) y un 25 % de hidrocarburos aromáticos (incluyendo naftalenos y alcalobencenos). La fórmula química para el diésel común es  $C_{11}H_{24}$ , variando entre  $C_{10}H_{22}$  y  $C_{15}H_{32}$ .
- Etiquetado de peligro (frases R y S). Anexo 5.  
R3/R5/R7/R8/R10/R15/R16/R18/R21/R22/R23/R24/R25R/31/R33/R36/R37/  
R50/R53/R56.  
S1/S2/S3/S4/S5/S13/S15/S16/S17/S21/S23/S24/S25/S26/S28/S29/S30/S3  
3/ S38/S39/S41/S43/S44/S46/S47/S52/S57/S61.

#### Datos físicos.

- Apariencia: Líquido transparente, color desde amarillo claro a café.
- Punto de ebullición: > 160 °C (320 °F).
- Punto de fusión: -30 - -18 °C.
- Solubilidad. (20 °C): Insignificante.
- Densidad. (15 °C): 0,81 – 0,87 g/cm<sup>3</sup>.
- T L V -límite superior de inflamabilidad: 7,0 %.
- IPVS - límite inferior de explosividad: 0,6 %.
- Punto de congelación: No disponible.
- Temperatura de autoignición: > 250 °C (482 °F).
- Coeficiente de expansión: No disponible.
- Temperatura de inflamación: > 60 °C (140 °F).
- Energía mínima de ignición: No disponible.
- Presión de vapor (20 °C):0,5 mmHg (< 0,067 kPa)

- 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: 10 100 kcal/kg mínimo.

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

- En caso de incendios evitar llamas y utilizar agua pulverizada, espuma resistente al alcohol, polvo, dióxido de carbono.
- En espacio cerrado al aproximarse al incendio utilizar filtros respiratorios para vapores orgánicos y gases.
- Si ocurren derrames o fugas se debe recoger, en la medida de lo posible, el líquido que se derrama.
- Absorber el líquido residual en arena o absorbente inerte y trasladarlo a un lugar seguro.
- Usar la ropa protectora específica para las distintas operaciones.

#### Peligros para la salud.

- Concentración permisible: 300 mg/m<sup>3</sup>.
- Exposición permisible: 150 ppm.
- Emergencias.
- Incendios: en caso de incendio se desprenden humos (o gases) tóxicos e irritantes. Los productos de combustión pueden contener: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre e hidrocarburos sin quemar.
- Explosiones: se forman las mezclas explosivas vapor/aire por encima de 52 °C.
- Derrames y fugas.

- Partes del cuerpo que afecta.
  - Posibilidad de efectos irreversibles.
  - Producto clasificado como carcinógeno categoría 3.
  - Por ingestión, la aspiración por los pulmones puede causar neumonía química que puede ser fatal.
  - El contacto prolongado puede reseca la piel originando dermatitis, enrojecimiento e irritación.
  - En condiciones de poca higiene personal, una exposición excesiva puede originar irritación, acné, foliculitis y verrugas que podrían ser malignas.
  - La exposición prolongada a concentraciones superiores al Valor Límite de Exposición establecido puede causar: dolor de cabeza, vértigo, náuseas, irritación de los ojos, vías respiratorias, garganta, vías digestivas, anomalías cardíacas, asfixia, inconsciencia o incluso la muerte.
- Forma de entrada al organismo.
  - La inhalación es la ruta más frecuente de exposición. Contacto con la piel, ojos e ingestión son otras vías probables de exposición.
- Toxicidad.

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR
Diésel	X	O,P,R	X			X	X	

Datos de reactividad.

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



### Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- Nombre del producto almacenado: Diésel.
- Forma del recipiente: cilíndrico, ubicado en posición vertical.
- Dimensiones del recipiente:  
Tanque 1: diámetro 36,5 m y altura operacional 6,660 m.  
Tanque 4 y 26: diámetro 34,2 m y altura operacional 7,500 m y 10,800 m respectivamente.  
Tanques 24 y 25: diámetro 34,2 m y altura operacional 10,600 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 12 944-1, ISO 12 944-3, ISO 12 944-5 y la ISO 12 944 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 cubetos, 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 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 4b:** Caracterización de la Nafta.

### Identificación del producto.

- Nombre del producto: Nafta.
- Fórmula Química: Combinación compleja de hidrocarburos parafínicos y aromáticos, obtenido como producto de la destilación fraccionada del petróleo crudo. La fórmula química para la nafta es  $C_{6}H_{14}$ .
- Etiquetado de peligro (frases R y S). Anexo 5.

R2/R3/R5/R7/R10/R11/R18/R22/R25/R30/R44/R45/R54/R55/R62/  
R63 S1/S2/S3/S7/S9/S14/S21/S24/S25/S29/S43/S46/S50/S56.

### Datos físicos.

- Apariencia: Líquido incoloro a ligeramente amarillo con olor a hidrocarburo.
- Punto de ebullición: 65 - 69 °C.
- Punto de fusión: -95 °C.
- Solubilidad: soluble en éter, cloroformo, benceno y alcohol.
- Densidad: 0.760 g/cm<sup>3</sup>
- TLV (límite superior de inflamabilidad): 7,6 en aire % de volumen.
- IPVS (límite inferior de explosividad): 1,5 en aire % de volumen.
- Punto de congelación: No disponible.
- Coeficiente de expansión: No disponible.
- Temperatura de inflamación: Se expresa en el rango siguiente: (-43 °C a -30 °C).
- Presión de vapor: 7,8 psi máximo.
- 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: a 1 013 mbar (J/kgK) para gas 2 500 y valores de 2 515-2 340 para líquidos.

Formas de control y mitigación en casos de desastres.

- Máscara de protección respiratoria en presencia de vapores o equipo autónomo en altas concentraciones.
- Gafas de seguridad.
- Evitar cualquier posible fuente de ignición.
- Coordinar medios de extinción de incendios en alrededores, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono.

Peligros para la salud.

- Concentración permisible: 2 000 mg/m<sup>3</sup>.
- Exposición permisible: 200 ppm.
- Partes del cuerpo que afecta:
  - Se sospecha que perjudica la fertilidad o daña al feto.
  - Puede provocar somnolencia o vértigo, daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.
  - Puede ser mortal, provoca pérdida de conciencia y náuseas, síntomas de irritación como eritema, formación de ampollas, dermatitis, riesgo de penetración cutánea.
- Forma de entrada al organismo.
  - La inhalación es la ruta más frecuente de exposición. Contacto con la piel, ojos e ingestión son otras vías probables de exposición.
- Toxicidad.

Sustancia	Toxicidad							
	TA	I	SB	TDR	MG	CG	C	TR
Nafta	X	R, O,P		X	X	X	X	X

### Datos de reactividad.

- Contaminantes producidos.
- El producto es tóxico para los organismos acuáticos y puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático.

### Condiciones de almacenamiento y manipulación.

- Nombre del producto almacenado: Nafta
- Forma del recipiente: cilíndrico, ubicado en posición vertical.
- Dimensiones del recipiente:
  - Tanques 16 y 17: diámetro: 22 m y altura operacional: 10,950 m.
- Material de construcción: acero al carbono, con un espesor de 10-12 mm.
- Protección del recipiente (interior o exterior): la protección está basada en las normas ISO 12 944-1, ISO 12 944-3, ISO 12 944-5 y la ISO 12 944-8, 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 cubetos hormigonados, 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 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 5: Clasificación y simbología para las sustancias (R y S).**

### **Indicación de riesgos específicos**

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

## Anexo 5: Continuación

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

## **Anexo 5: Continuación**

### **Indicaciones sobre precauciones de seguridad**

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

## Anexo 5: Continuación

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



## **Anexo 5: Continuación**

S56	Desechar este material y su envase en un punto de recolección de residuos peligrosos o especiales
S57	Usar envases apropiados para evitar la contaminación ambiental
S58	Desechar como residuo peligroso
S59	Acudir al fabricante o proveedor para informarse sobre la recuperación-reciclaje
S60	Este material y su envase deben eliminarse como residuos peligrosos
S61	Evítese descargar en el ambiente. Remítase a las instrucciones especiales-hoja de datos de seguridad
S62	Si se ingiere, no inducir el vómito: buscar asistencia médica de inmediato y mostrar el envase o la etiqueta

**Anexo 6:** 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	5,95	83	6,48	93	7,46	99,3
3,25	4	3,92	14	4,29	24	4,59	34	4,85	44	5,10	54	5,36	64	5,64	74	5,99	84	6,55	94	7,51	99,4
3,36	5	3,96	15	4,33	25	4,61	35	4,87	45	5,13	55	5,39	65	5,67	75	6,04	85	6,64	95	7,58	99,5
3,45	6	4,01	16	4,36	26	4,64	36	4,90	46	5,15	56	5,41	66	5,71	76	6,08	86	6,75	96	7,65	99,6
3,52	7	4,05	17	4,39	27	4,67	37	4,92	47	5,18	57	5,44	67	5,74	77	6,13	87	6,88	97	7,75	99,7
3,59	8	4,08	18	4,42	28	4,69	38	4,95	48	5,20	58	5,47	68	5,77	78	6,18	88	7,05	98	7,88	99,8
3,66	9	4,12	19	4,45	29	4,72	39	4,97	49	5,23	59	5,50	69	5,81	79	6,23	89	7,33	99	8,09	99,9

**Fuente:** Domínguez, (2014).

**Anexo 7:** Censo poblacional del año 2012 en los Consejos Populares del municipio de Matanzas.

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

**Anexo 8:** Cantidad de trabajadores por área de la UEB División Territorial de Comercialización de Combustibles Matanzas.

<b>Áreas de la UEB.</b>		<b>Cantidad de Trabajadores.</b>
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:** 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 10:** Resultados del *software* ALOHA.

**Anexo 10:** Dimensiones de la nube tóxica del Diésel.

Nubosidad		5	<b>Enero-TK1</b>			
Humedad (%)		78				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2160
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1300	280	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			390
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	591	248	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			890
			PAC-2-26	332	184	
			PAC-1-2.3	3000	260	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			400
			PAC-2-26	334	184	
			PAC-1-2.3	3000	260	
Laboratorio-taller	WSW	2.33	PAC-3-150			260
			PAC-2-26	334	184	
			PAC-1-2.3	3000	260	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			660
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1400	280	

Nubosidad	4		<b>Abril-TK1</b>			
Humedad (%)	73					
Áreas.	Dirección del viento.	Velocidad del viento (m/s).	Concentración (ppm).	Largo (m).	Ancho (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m).
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2160
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1700	280	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			390
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	822	254	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			890
			PAC-2-26	388	176	
			PAC-1-2.3	3700	280	
Área de oficinas.	WSW	2.33	PAC-3-150			400
			PAC-2-26	390	176	
			PAC-1-2.3	3700	240	
Laboratorio y taller.	WSW	2.33	PAC-3-150			260
			PAC-2-26	390	176	
			PAC-1-2.3	3700	240	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			660
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1700	300	

Nubosidad		6	Julio-TK1			
Humedad (%)		81				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2160
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1800	300	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			390
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	992	260	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			890
			PAC-2-26	431	240	
			PAC-1-2.3	4200	300	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			400
			PAC-2-26	432	220	
			PAC-1-2.3	4200	220	
Área de oficinas	W	2.75	PAC-3-150	221	64	400
			PAC-2-26	632	64	
			PAC-1-2.3	6200	320	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	PAC-3-150			260
			PAC-2-26	432	220	
			PAC-1-2.3	4200	220	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			660
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1800	300	



Nubosidad		5	Octubre-TK1			
Humedad (%)		84				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2160
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1700	300	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			390
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	956	260	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			890
			PAC-2-26	422	300	
			PAC-1-2.3	4100	300	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			400
			PAC-2-26	422	360	
			PAC-1-2.3	4000	320	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	PAC-3-150			260
			PAC-2-26	422	106	
			PAC-1-2.3	4000	320	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			660
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1700	300	

Nubosidad		5	Enero-TK4			
Humedad (%)		78				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2150
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	950	260	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			400
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	352	234	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			940
			PAC-2-26	263	240	
			PAC-1-2.3	2100	260	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			370
			PAC-2-26	262	240	
			PAC-1-2.3	2100	240	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	PAC-3-150			270
			PAC-2-26	262	240	
			PAC-1-2.3	2100	240	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			590
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	946	260	

Nubosidad		4	<b>Abril-TK4</b>			
Humedad (%)		73				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2150
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1200	260	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			400
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	440	236	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			940
			PAC-2-26	290	260	
			PAC-1-2.3	2500	260	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			370
			PAC-2-26	289	260	
			PAC-1-2.3	2500	260	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	PAC-3-150			270
			PAC-2-26	289	260	
			PAC-1-2.3	2500	260	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			590
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1200	260	

Nubosidad		6	<b>Julio-TK4</b>			
Humedad (%)		81				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2150
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1300	280	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			400
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	606	252	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			940
			PAC-2-26	332	260	
			PAC-1-2.3	3200	260	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			370
			PAC-2-26	333	220	
			PAC-1-2.3	3200	240	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	PAC-3-150			270
			PAC-2-26	333	220	
			PAC-1-2.3	3200	240	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			590
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1300	260	

Nubosidad		5	Octubre-TK4			
Humedad (%)		84				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	PAC-3-150			2150
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1100	260	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	PAC-3-150			400
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	543	242	
Base en Tierra	SW	2.42	PAC-3-150			940
			PAC-2-26	317	260	
			PAC-1-2.3	3000	240	
Área de oficinas	WSW	2.33	PAC-3-150			370
			PAC-2-26	318	220	
			PAC-1-2.3	3000	240	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	PAC-3-150			270
			PAC-2-26	318	220	
			PAC-1-2.3	3000	240	
Muelle	WNW	3.33	PAC-3-150			590
			PAC-2-26			
			PAC-1-2.3	1200	260	

**Anexo 10b:** Dimensiones de la nube tóxica de la Nafta.

Nubosidad		5		Enero-TK16		
Humedad (%)		78				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente emisión al área (m).
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	79	91.2	2050
			AEGL-2-2900	184	138.6	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	61	91.2	300
			AEGL-2-2900	160	133.4	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	204	224	1000
			AEGL-2-2900	380	308	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	212	224	470
			AEGL-2-2900	390	322	
			AEGL- 1			
Laboratorio - taller	WSW	2.33	AEGL-3-8600	212	224	360
			AEGL-2-2900	390	322	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	102	115.8	660
			AEGL-2-2900	217	181.6	
			AEGL- 1			

Nubosidad		4	Abril-TK16			
Humedad (%)		73				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente emisión al área (m).
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	86	92.2	2050
			AEGL-2-2900	193	144.8	
			AEGL 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	67	89.4	300
			AEGL-2-2900	168	136.8	
			AEGL-1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	218	224	1000
			AEGL-2-2900	397	322	
			AEGL-1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	222	224	470
			AEGL-2-2900	405	336	
			AEGL-1			
Laboratorio -taller	WSW	2.33	AEGL-3-8600	222	224	360
			AEGL-2-2900	405	336	
			AEGL 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	109	115.8	660
			AEGL-2-2900	226	184.2	
			AEGL- 1			

Nubosidad		6	Julio-TK16			
Humedad (%)		81				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente emisión al área (m).
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	90	97.4	2050
			AEGL-2-2900	197	142.2	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	75	89.4	300
			AEGL-2-2900	179	136.8	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	229	238	1000
			AEGL-2-2900	415	344	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	239	232	470
			AEGL-2-2900	425	358	
			AEGL- 1			
Laboratorio -taller	WSW	2.33	AEGL-3-8600	239	232	360
			AEGL-2-2900	425	358	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	113	118.4	660
			AEGL-2-2900	232	189.4	
			AEGL- 1			



Nubosidad		5	Octubre-TK16			
Humedad (%)		84				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente emisión al área (m).
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	101	97.4	2050
			AEGL-2-2900	210	142.2	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	92	94.8	300
			AEGL-2-2900	199	136.8	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	254	266	1000
			AEGL-2-2900	454	358	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	262	274	470
			AEGL-2-2900	464	386	
			AEGL- 1			
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	AEGL-3-8600	262	274	360
			AEGL-2-2900	464	386	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	121	121	660
			AEGL-2-2900	241	179	
			AEGL- 1			

Nubosidad		5	Enero-TK17			
Humedad (%)		78				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	146	147.4	2070
			AEGL-2-2900	311	218	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	122	140.4	300
			AEGL-2-2900	280	208	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	377	400	960
			AEGL-2-2900	679	560	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	421	560	480
			AEGL-2-2900	687	680	
			AEGL- 1			
Laboratorio - taller.	WSW	2.33	AEGL-3-8600	421	560	350
			AEGL-2-2900	687	680	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	184	191.4	690
			AEGL-2-2900	363	286	
			AEGL- 1			

Nubosidad		4	Abril-TK17			
Humedad (%)		73				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	152	154.4	2070
			AEGL-2-2900	319	232	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	127	147.4	300
			AEGL-2-2900	288	218	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	415	520	960
			AEGL-2-2900	680	660	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	425	560	480
			AEGL-2-2900	694	680	
			AEGL- 1			
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	AEGL-3-8600	425	560	350
			AEGL-2-2900	694	680	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	190	204	690
			AEGL-2-2900	369	300	
			AEGL- 1			

Nubosidad		6	Julio-TK17			
Humedad (%)		81				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	152	157.8	2070
			AEGL-2-2900	321	242	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	132	143.8	300
			AEGL-2-2900	297	228	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	418	540	960
			AEGL-2-2900	684	660	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	429	560	480
			AEGL-2-2900	699	700	
			AEGL- 1			
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	AEGL-3-8600	429	560	350
			AEGL-2-2900	699	700	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	191	204	690
			AEGL-2-2900	375	304	
			AEGL- 1			

Nubosidad	5	Octubre-TK17				
Humedad (%)	84					
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	AEGL-3-8600	145	147.4	2070
			AEGL-2-2900	312	228	
			AEGL- 1			
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	AEGL-3-8600	125	140.4	300
			AEGL-2-2900	289	224	
			AEGL- 1			
Base en Tierra	SW	2.42	AEGL-3-8600	382	400	960
			AEGL-2-2900	677	560	
			AEGL- 1			
Área de oficinas	WSW	2.33	AEGL-3-8600	419	520	480
			AEGL-2-2900	683	680	
			AEGL- 1			
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	AEGL-3-8600	419	520	350
			AEGL-2-2900	683	680	
			AEGL- 1			
Muelle	WNW	3.33	AEGL-3-8600	182	187	690
			AEGL-2-2900	366	300	
			AEGL- 1			

**Anexo 10c:** Dimensiones de la nube explosiva de la Nafta.

Nubosidad		5	Enero-TK16			
Humedad (%)		78				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2050
			3.5	66	40.4	
			1	105	156.2	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	43	26.4	
			1	67	93.4	
Base en Tierra	SW	2.42	8			1000
			3.5	168	77.2	
			1	219	298	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			470
			3.5	176	84.2	
			1	227	298	
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	8			360
			3.5	176	84.2	
			1	227	298	
Muelle	WNW	3.33	8			660
			3.5	87	55.2	
			1	135	189.4	

Nubosidad		4	Abril-TK16			
Humedad (%)		73				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2050
			3.5	74	47.4	
			1	114	170.2	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	53	31.6	
			1	81	115.8	
Base en Tierra	SW	2.42	8			1000
			3.5	181	80.8	
			1	233	306	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			470
			3.5	183	84.2	
			1	236	312	
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	8			360
			3.5	183	84.2	
			1	236	312	
Muelle	WNW	3.33	8			660
			3.5	93	60.6	
			1	144	214	

Nubosidad		6	Julio-TK16			
Humedad (%)		81				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2050
			3.5	76	49.2	
			1	118	177.2	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	62	36.8	
			1	97	140.4	
Base en Tierra	SW	2.42	8			1000
			3.5	191	91.2	
			1	244	322	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			470
			3.5	199	87	
			1	264	326	
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	8			360
			3.5	199	87	
			1	264	326	
Muelle	WNW	3.33	8			660
			3.5	98	57.8	
			1	148	218	



Nubosidad		5	Octubre-TK16			
Humedad (%)		84				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2050
			3.5	89	55.2	
			1	136	197.4	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	78	52.6	
			1	123	186	
Base en Tierra	SW	2.42	8			1000
			3.5	214	95.6	
			1	279	340	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			470
			3.5	218	91.4	
			1	284	344	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	8			360
			3.5	218	91.4	
			1	284	344	
Muelle	WNW	3.33	8			660
			3.5	110	68.4	
			1	159	234	

Nubosidad		5	Enero-TK17			
Humedad (%)		78				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2070
			3.5	118	79	
			1	189	276	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	102	65.8	
			1	160	228	
Base en Tierra	SW	2.42	8			960
			3.5	314	147.4	
			1	394	470	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			480
			3.5	360	140.4	
			1	461	464	
Laboratorio - taller	WSW	2.33	8			350
			3.5	360	140.4	
			1	461	464	
Muelle	WNW	3.33	8			690
			3.5	159	98.2	
			1	238	340	

Nubosidad		4	Abril-TK17			
Humedad (%)		73				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2070
			3.5	125	87.8	
			1	196	284	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	109	68.4	
			1	167	244	
Base en Tierra	SW	2.42	8			960
			3.5	356	119.2	
			1	455	470	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			480
			3.5	363	126.4	
			1	465	478	
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	8			350
			3.5	363	126.4	
			1	465	478	
Muelle	WNW	3.33	8			690
			3.5	162	101.8	
			1	243	348	

Nubosidad		6	Julio-TK17			
Humedad (%)		81				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2070
			3.5	124	77.2	
			1	195	284	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	112	73.6	
			1	171	252	
Base en Tierra	SW	2.42	8			960
			3.5	356	133.4	
			1	456	464	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			480
			3.5	366	126.4	
			1	468	478	
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	8			350
			3.5	366	126.4	
			1	468	478	
Muelle	WNW	3.33	8			690
			3.5	162	91.2	
			1	243	344	

Nubosidad		5		Octubre-TK17		
Humedad (%)		84				
Áreas	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Planta de Gas Licuado	NE	4.17	8			2070
			3.5	117	73.6	
			1	187	276	
Base de Crudo y Suministro	ESE	3.97	8			300
			3.5	103	71	
			1	163	236	
Base en Tierra	SW	2.42	8			960
			3.5	319	133.4	
			1	400	478	
Área de oficinas	WSW	2.33	8			480
			3.5	358	126.4	
			1	457	456	
Laboratorio-taller.	WSW	2.33	8			350
			3.5	358	126.4	
			1	457	456	
Muelle	WNW	3.33	8			690
			3.5	158	91.2	
			1	235	330	

**Anexo 11:** Dirección del viento con respecto a los Consejos Populares.

**Anexo 11a:** Dimensiones de la nube tóxica del Diésel.

<b>Enero-TK1</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	950	3770
Pueblo Nuevo	NE	4.17	1300	5150
Versalles	ENE	4.69	905	3510
Matanzas este	ENE	4.69	905	4680
Matanzas oeste	ENE	4.69	905	5310
Peñas Altas	NNW	3.72	914	3720

<b>Abril-TK1</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	1200	3770
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	1700	5150
Versalles	ENE	4.69	1100	3510
Matanzas este	ENE	4.69	1100	4680
Matanzas oeste	ENE	4.69	1100	5310
Peñas Altas	NNW	3.72	1200	3720

<b>Julio-TK1</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	1300	3770
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	1800	5150
Versalles	ENE	4.69	1300	3510
Matanzas este	ENE	4.69	1300	4680
Matanzas oeste	ENE	4.69	1300	5310
Peñas Altas	NNW	3.72	1300	3720

<b>Octubre-TK1</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	1200	3770
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	1700	5150
Versalles	ENE	4.69	1100	3510
Matanzas este	ENE	4.69	1100	4680
Matanzas oeste	ENE	4.69	1100	5310
Peñas Altas	NNW	3.72	1100	3720

<b>Enero-TK4</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	900	3700
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	950	5130
Versalles	ENE	4.69	866	3500
Matanzas este	ENE	4.69	866	4660
Matanzas oeste	ENE	4.69	866	5320
Peñas Altas	NNW	3.72	892	3620

<b>Abril-TK4</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	1200	3700
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	1200	5130
Versalles	ENE	4.69	1100	3500
Matanzas este	ENE	4.69	1100	4660
Matanzas oeste	ENE	4.69	1100	5320
Peñas Altas	NNW	3.72	1100	3620

<b>Julio-TK4</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	1300	3700
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	1300	5130
Versalles	ENE	4.69	1300	3500
Matanzas este	ENE	4.69	1300	4660
Matanzas oeste	ENE	4.69	1300	5320
Peñas Altas	NNW	3.72	1300	3620

<b>Octubre-TK4</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	1200	3700
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	1100	5130
Versalles	ENE	4.69	1100	3500
Matanzas este	ENE	4.69	1100	4660
Matanzas oeste	ENE	4.69	1100	5320
Peñas Altas	NNW	3.72	1100	3620



**Anexo 11b:** Dimensiones de la nube tóxica de la Nafta.

<b>Enero-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	211	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	184	5040
Versalles	ENE	4.69	168	3420
Matanzas este	ENE	4.69	168	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	168	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	201	3610

<b>Abril-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	220	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	193	5040
Versalles	ENE	4.69	177	3420
Matanzas este	ENE	4.69	177	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	177	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	209	3610

<b>Julio-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	226	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	197	5040
Versalles	ENE	4.69	180	3420
Matanzas este	ENE	4.69	180	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	180	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	215	3610

<b>Octubre-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	220	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	210	5040
Versalles	ENE	4.69	176	3420
Matanzas este	ENE	4.69	176	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	176	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	209	3610

<b>Enero-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	336	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	311	5050
Versalles	ENE	4.69	266	3400
Matanzas este	ENE	4.69	266	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	266	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	319	3680

<b>Abril-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	348	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	319	5050
Versalles	ENE	4.69	279	3400
Matanzas este	ENE	4.69	279	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	279	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	332	3680

<b>Julio-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	358	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	321	5050
Versalles	ENE	4.69	285	3400
Matanzas este	ENE	4.69	285	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	285	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	341	3680

<b>Octubre-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	351	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	312	5050
Versalles	ENE	4.69	278	3400
Matanzas este	ENE	4.69	278	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	278	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	333	3680

**Anexo 11c:** Dimensiones de la nube explosiva de la Nafta.

<b>Enero-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	130	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	105	5040
Versalles	ENE	4.69	90	3420
Matanzas este	ENE	4.69	90	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	90	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	119	3610

<b>Abril-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	138	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	114	5040
Versalles	ENE	4.69	101	3420
Matanzas este	ENE	4.69	101	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	101	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	128	3610

<b>Julio-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	143	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	118	5040
Versalles	ENE	4.69	104	3420
Matanzas este	ENE	4.69	104	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	104	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	136	3610

<b>Octubre-TK16</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	138	3650
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	136	5040
Versalles	ENE	4.69	101	3420
Matanzas este	ENE	4.69	101	4580
Matanzas oeste	ENE	4.69	101	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	128	3610

<b>Enero-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	203	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	189	5050
Versalles	ENE	4.69	142	3400
Matanzas este	ENE	4.69	142	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	142	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	186	3680

<b>Abril-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	212	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	196	5050
Versalles	ENE	4.69	155	3400
Matanzas este	ENE	4.69	155	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	155	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	199	3680

<b>Julio-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	219	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	195	5050
Versalles	ENE	4.69	162	3400
Matanzas este	ENE	4.69	162	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	162	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	205	3680

<b>Octubre-TK17</b>				
Consejos Populares	Dirección del viento	Velocidad del viento (m/s)	Largo de la nube (m).	Distancia de la fuente de emisión al área (m)
Playa	N	3.47	212	3690
Pueblo Nuevo.	NE	4.17	187	5050
Versalles	ENE	4.69	155	3400
Matanzas este	ENE	4.69	155	4570
Matanzas oeste	ENE	4.69	155	5210
Peñas Altas	NNW	3.72	199	3680

**Anexo 12:** 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 13:** Dimensiones de las áreas generadas por el BLEVE.

Anexo 13a: Dimensiones de las áreas generadas por el BLEVE para el diésel.

Tanques	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Radio de la zona (m)	Diámetro de la bola de fuego (m)	Duración (s)
TK1	Rojo 10,0	2 000	992	43
	Naranja 5,0	2 800		
	Amarillo 2,0	4 400		
TK4	Rojo 10,0	2 000	992	43
	Naranja 5,0	2 800		
	Amarillo 2,0	4 400		

Anexo 13b: Dimensiones de las áreas generadas por el BLEVE para la nafta.

Tanques	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Radio de la zona (m)	Diámetro de la bola de fuego (m)	Duración (s)
TK16	Rojo 10,0	1 700	814	37
	Naranja 5,0	2 400		
	Amarillo 2,0	3 700		
17	Rojo 10,0	1 700	814	37
	Naranja 5,0	2 400		
	Amarillo 2,0	3 700		



#### **Anexo 14:** Daño según flujo térmico recibido.

Radiación térmica $\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}$	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 15:** Costo de los equipos de la UEB por área.

**Anexo 15a:** Terminal 320.

<b>Tanques.</b>	<b>Diámetro (m).</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Capacidad (m).</b>	<b>Costo (\$).</b>
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
8	6	7,722	218	86 169
6	15,5	12,49	2 356	238 596
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				8 988 872

**Anexo 15b: Base de Crudo y Suministro**

<b>Tanques</b>	<b>Capacidad (m).</b>	<b>Costo (\$).</b>
27	31 260,6	1 376 842
28	17 104,5	958 853
29	46 549,08	1 748 366
30	9 903,6	622 085
33	9 914,4	622 599
34	9 925,2	623 112
35	9 925,2	623 112
36	9 934,92	623 575
37	46 300,8	1 742 765
38	9 917,64	797 248
39	933,66	147 558
40	2 054,34	220 712
41	4 406,4	351 003
42	3 540,08	304 976
71	383,91	102 927
72	383,91	102 927
Total		10 968 661

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
<b>Total</b>		<b>2 798 975</b>

**Anexo 15c: Base en Tierra**

<b>Tanques.</b>	<b>Diámetro (m).</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Capacidad (m).</b>	<b>Costo (\$).</b>
69-1			10 000	626 670
69-2			10 000	626 670
70-1			10 000	626 670
70-2			10 000	626 670
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
<b>Total</b>				17 951 296