

**Universidad de Matanzas**  
**“Camilo Cienfuegos”**  
**Facultad de Ingenierías**  
**Departamento de Química e Ingeniería Química**



**TRABAJO DE DIPLOMA**

*Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico.*

**TÍTULO:** ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS  
LICUADO DEL PETRÓLEO EN LA EMPRESA COMERCIALIZADORA DE  
COMBUSTIBLES MATANZAS (ECCM).

**Autor:** Alejandro Díaz Linares.

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

Dr. Jesús D. Luis Orozco.

Matanzas. Cuba.

2013

## *DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.*

---

Yo, Alejandro Díaz Linares, declaro que soy el único autor de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Empresa Comercializadora de Combustible Matanzas (ECCM) y de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

---

Alejandro Díaz Linares.

## NOTA DE ACEPTACIÓN.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

\_\_\_\_\_  
Presidente del Tribunal.

\_\_\_\_\_  
Firma.

\_\_\_\_\_  
Miembro del Tribunal.

\_\_\_\_\_  
Firma.

\_\_\_\_\_  
Miembro del Tribunal.

\_\_\_\_\_  
Firma.

\_\_\_\_\_  
Miembro del Tribunal.

\_\_\_\_\_  
Firma.

*Nosotros vivimos en un universo. Entre otras cosas esto significa que la ciencia, la ingeniería, la búsqueda de la justicia, la búsqueda de la belleza y la búsqueda de la santidad están interrelacionadas.*

*W.K. Lewis, profesor del M.I.T.*

## *DEDICATORIA.*

---

- ❖ A la memoria de Gerardito, porque el amor y humildad que me regaló han sido impulso en mis estudios y mi vida.
- ❖ A la memoria de mis abuelos Sixto y Rita que siempre creyeron en mi capacidad y mi responsabilidad.
- ❖ A mi abuela Ada por ser ella y siempre estar atenta de mi persona.
- ❖ A mis padres Vilma y Santiago de quienes aprendí la mejor parte de mí.
- ❖ A mi tía Mercedes, siempre cercana desde la distancia.
- ❖ A mi esposa Yolanda, la muchacha más linda del mundo.
- ❖ A mis bienhechores, familiares, amigos y profesores.
- ❖ A Dios.

## *AGRADECIMIENTOS.*

---

Es el agradecimiento y la memoria presencia en el corazón.

- ❖ A mis padres Santiago y Vilma por estar conmigo en las tristezas y las alegrías, por haberme apoyado en los momentos más difíciles y por haber forjado mi alma en la fragua de su corazón.
- ❖ A mi muchacha, mi esposa Yolanda, porque ha sabido contagiar mi vida con su gracia y su alegría.
- ❖ A mi tía Mercedes y mis primos Iván y Leidys por su acompañamiento y ayuda en cada acontecimiento de mi vida.
- ❖ A mi tía Barbi por quererme tanto.
- ❖ A Gerardito, abuelo Sixto y abuela Rita por los años que estuvieron entre nosotros en especial en mi infancia.
- ❖ A mis abuelos Santiago y Ada por su apoyo en todos mis años de estudio.
- ❖ A mi familia Linares Alfonso por su cercanía y ejemplo.
- ❖ A mi familia paterna por su cariño y cooperación.
- ❖ Al Chicuis por tener siempre los chistes más oportunos.
- ❖ A todos mis amigos de la Vocacional en especial Raúl, Rolando, Leonardo, Roberto, Naty, Ailyn, Vivian y Yudelkis, que buscando un sueño tomaron su rumbo y aun en la distancia siempre me han apoyado.
- ❖ A mis compañeros de carrera, especialmente Alejandro Bermúdez y Lester, por todos los momentos vividos juntos.
- ❖ A mis compañeras Iliet, Laura y Ana Diana por brindarme su amistad y su familia.
- ❖ A mi tutor principal Ing. Santiago Díaz Suarez. MSc, padre, amigo y maestro, por sus magistrales clases.
- ❖ A mi cotutor Dr. Jesús Delfín Luis Orozco por compartir conmigo su experiencia y sus ideas.
- ❖ A todos los maestros que contribuyeron a mi formación en mi vida escolar, en especial a Berta, Maribel, Silvino y Lourdes Mondejar.

- ❖ A todos los profesores de mi carrera, en especial a Orozco, Hassan, Lourdes y Agustín.
- ❖ A todos aquellos que contribuyeron de una u otra manera en mi formación y mi vida.
- ❖ A la Iglesia Católica por la formación recibida y mostrarme los signos, huellas e indicios de lo divino en la aventura humana.
- ❖ A Dios por trazar el itinerario de mi vida y darme la capacidad para cumplir mi vocación y mis sueños.

## *Resumen.*

Este trabajo de investigación se realiza en el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas (ECCM), ubicada en la zona industrial de dicha provincia. En él se determinaron, a partir del estudio de registros históricos y del Árbol de Sucesos, que los escenarios de riesgos más probables son: el *Jet Fire*, la explosión de una nube de vapor (VCE), la formación de una nube tóxica y el BLEVE. Se evaluaron las áreas de atmósferas peligrosas correspondientes a estos escenarios, mediante el software ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres de sus siglas en inglés*), obteniéndose que las mayores áreas de riesgo son las generadas por la formación de una nube tóxica. Se obtuvieron además, mediante las Ecuaciones Probit, las afectaciones humanas en la zona de estudio, en caso de ocurrir un accidente y se determinó que el escenario de riesgo que mayor impacto tendría sobre la población y los trabajadores de la planta es el BLEVE. Se estimaron los posibles daños a las edificaciones y el costo actual de reposición de la planta.



## *Abstract.*

This investigation work is carried out in the area of storage of liquefied gas of the petroleum of the Company of Fuels of Matanzas (ECCM), located in the industrial area of this county. In this investigation was determined, starting from the study of historical registrations and of the events tree, the scenarios of more probable risks are: the Jet Fire, the explosion of a cloud of vapor, the formation of a toxic cloud and the BLEVE. The areas of dangerous atmospheres corresponding to these scenarios were evaluated, by means of the software ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres), being obtained that the biggest area of risks is those generated by the formation of a toxic cloud. They were also obtained, by means of the Equations Probit, the human affectations in the study area, if an accident happening, and it was determined that the scenario of risk that bigger negative repercussion would have on the population and the workers of the plant is the BLEVE. They were considered the possible damages at the constructions and the current cost of reinstatement of the plant.

<b>Índice</b>	
Introducción.	1
Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.	3
1.1 Gas Licuado. Propiedades y características.	3
1.2 Tipos de riesgos que más se producen y frecuencia en instalaciones de gas licuado.	5
1.3 Análisis y evaluación de riesgos.	10
1.3.1 Análisis de riesgos. Técnicas de análisis más usadas en la industria.	12
1.3.2 Descripción de las técnicas de análisis	14
1.4 Software de evaluación de áreas de atmósferas peligrosas.	27
1.5 Métodos para la determinación del efecto de la radiación y la sobrepresión sobre las personas y las edificaciones.	28
1.6 Variables climatológicas.	28
1.7 Conclusiones parciales.	31
Capítulo 2: Materiales y métodos.	32
2.1 Caracterización de la planta de gas licuado del petróleo.	32
2.2 Procedimiento de identificación de la sustancia involucrada en el proceso.	33
2.3 Metodología de elaboración y análisis del Árbol de Sucesos.	35
2.4 Características y particularidades del software ALOHA en la evaluación de las consecuencias de los accidentes industriales.	36
2.5 Metodología para la determinación del efecto de la radiación y la sobrepresión sobre los recursos humanos y materiales.	42
Capítulo 3. Análisis de los resultados.	44
3.1 Análisis del Árbol de Sucesos.	44
3.2 Establecimiento de las condiciones de trabajo con el software.	49
3.3 Resultados de la aplicación del software ALOHA.	54
3.3.1 Análisis de los resultados de las áreas de la nube tóxica.	55
3.3.2 Análisis de los resultados de la dispersión de la nube tóxica, bajo condiciones de calma.	61
3.3.3 Análisis de los resultados de la explosión de la nube de vapor.	64
3.3.4 Análisis de los resultados de las áreas de atmósferas peligrosas originadas por un BLEVE.	66
3.3.5 Análisis de los resultados de las áreas de atmósferas peligrosas originadas por un <i>Jet Fire</i> .	68
3.4 Análisis de la influencia de la sobrepresión y la radiación térmica provocada por la explosión de una nube de vapor, un BLEVE y un <i>Jet Fire</i> sobre las personas y la planta.	70
3.4.1 Análisis de los efectos de la radiación térmica sobre las personas provocada por un <i>Jet Fire</i> .	70
3.4.2 Análisis de los efectos de la radiación térmica provocada por un BLEVE sobre las personas.	72
3.4.3 Análisis del efecto de la sobrepresión provocada por una explosión sobre las personas y la planta.	73
3.5 Estimación del impacto económico sobre la planta.	76
3.6 Conclusiones parciales.	76
Conclusiones	77
Recomendaciones.	78
Bibliografía.	79
Anexos.	82

## *Introducción.*

A lo largo de las últimas décadas ha existido un gran auge en el desarrollo de la industria del petróleo y sus subproductos como el gas licuado del petróleo (GLP). Este último por sus características físico químicas es un combustible excelente que provoca muchas menos afectaciones al medio ambiente que el petróleo, la gasolina u otros combustibles; de manera tal que su uso se ha visto altamente diversificado de forma que en la actualidad no solo es usado como combustible para la elaboración de alimentos, sino que además es usado para la generación de electricidad y como combustible para vehículos automotor por citar solo dos ejemplos.

Este aumento progresivo en el uso del gas licuado del petróleo ha provocado el desarrollo y crecimiento de aquellas industrias vinculadas a la recepción, comercialización, almacenamiento y acondicionamiento del gas licuado del petróleo. Lo cual deviene en un aumento paralelo y proporcional de los riesgos en este tipo de industria.

A través de los años es significativo el número de accidentes que se encuentran relacionados directamente con el gas licuado, reportados por diversas fuentes, los cuales han sido desastrosos en la mayoría de los casos.

La Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas, no está ajena a los riesgos industriales, ya que la misma tiene como objetivos recepcionar, comercializar, acondicionar y almacenar combustibles, siendo entonces de vital importancia la realización de análisis y evaluaciones de riesgos en dicha empresa.

Esta empresa ha sido objeto de estudio de riesgos en los últimos tres años por parte de profesores y estudiantes de la Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Estos estudios han estado enfocados a la determinación de las posibles causas de riesgos, sus posibles consecuencias y la forma de mitigarlos.

Pero este tipo de análisis ha sido realizado solo en el área de almacenamiento de combustibles líquidos como nafta, gasolina y petróleo crudo, estando sin un análisis de riesgos el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo, que pudiera decirse es una de las sustancias más peligrosas actualmente en la empresa; por lo que resulta importante la determinación de los escenarios de riesgos más probables y sus posibles consecuencias.

**Problema:** ¿Cuáles serán los escenarios de riesgos más probables, sus áreas de peligro potencial y las afectaciones socioeconómicas que pueden originarse en la zona de almacenamiento de gas licuado del petróleo ubicada en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas?

**Hipótesis:** Si se aplican técnicas de análisis y evaluación de riesgos, se pueden determinar los escenarios de riesgos más probables, evaluar sus atmósferas peligrosas y determinar el impacto ambiental.

**Objetivo General:**

Realizar el análisis de riesgos en el área de almacenamiento de gas licuado del petróleo en la Empresa Comercializadora de Combustibles Matanzas (ECCM).

**Objetivos Específicos:**

- Detectar los escenarios de riesgo más probables en el almacenamiento de gas licuado.
- Evaluar las áreas de atmósferas peligrosas asociadas a cada escenario de riesgo.
- Estimar las consecuencias de impacto ambiental para cada escenario de riesgo.

## *Capítulo 1: Revisión Bibliográfica.*

En este capítulo se realiza una revisión de los principales aspectos vinculados a la temática investigada, en primer término aparecen las principales características y propiedades de la sustancia objeto de estudio, que en gran medida definen los tipos de riesgo, en estas instalaciones. Como complemento indispensable se recogen los criterios para el análisis y evaluación de riesgos, así como la frecuencia de estos en instalaciones de gas licuado, según diversos especialistas. Se aborda además el estudio de las técnicas de análisis más usadas en la industria y su descripción.

### **1.1 Gas Licuado. Propiedades y características.**

Los dos gases licuados del petróleo de uso general son el butano comercial y el propano comercial. Según Wells, (2003) estos hidrocarburos se encuentran como gases a temperatura y presión normal, pero pueden ser llevados a líquidos al elevarle la presión, de manera que si esta presión es disminuida el hidrocarburo se vuelve gaseoso nuevamente. El gas licuado del petróleo (GLP) es incoloro y su densidad como líquido es aproximadamente la mitad de la del agua. La relación de volumen entre el líquido y el gas es de 1/125. Este gas es al menos 1.5 veces más denso que el aire y no se dispersa fácilmente. De manera que se mantiene en caso de ser liberado al nivel más bajo posible acumulándose en hoyos, sótanos, desagües y otras depresiones. El GLP forma mezclas inflamables con aire en concentraciones que se encuentren entre un 2 y 10 %. Lo que representa peligro de fuego o explosión si es almacenado o usado incorrectamente. A muy altas concentraciones cuando se mezcla con aire el GLP es anestésico y provoca asfixia por diluir o disminuir el oxígeno disponible.

Nolan, (2011) señala que el gas licuado del petróleo (GLP) es una mezcla de los gases licuados butano y propano, el cual es obtenido del gas natural o del petróleo. El GLP es licuado para el transporte y posteriormente vaporizado para su uso como combustible. Una parte en volumen de GLP representa en gas

alrededor de 2300 partes de gas en el aire. Al igual que Wells, (2003), Nolan, (2011) señala que el GLP es anestésico y asfixiante en altas concentraciones. Referente a sus propiedades organolépticas indica que es incoloro, inodoro, y además añade que no es corrosivo ni tóxico. En caso de derrame tiende a formar rápidamente una nube de vapor que es fácilmente inflamable.

El gas licuado del petróleo (GLP) es la mezcla de gases licuados presentes en el gas natural o disuelto en el petróleo. Los componentes del GLP, aunque a temperatura y presión ambiente son gases, son fáciles de licuar, de ahí su nombre. En la práctica, se puede decir que el GLP es una mezcla de propano y butano.

El propano y el butano están presentes en el petróleo crudo y el gas natural, aunque una parte se obtiene durante el refinado de petróleo, sobre todo como subproducto de la destilación fraccionada catalítica (FCC, por sus siglas en inglés *Fluid Catalytic Cracking*). (Kakar, 2011).

Una caracterización más detallada del gas licuado del petróleo (GLP) es mostrada en el anexo 1.

De acuerdo a lo reportado anteriormente, puede suponerse que las características del GLP deben provocar como principales escenarios de riesgo la formación de una nube de gas de difícil dispersión que a bajas concentraciones puede devenir en la formación de una nube inflamable y que a altas concentraciones, conservando las características de una nube tóxica, tendría un carácter letal por su efecto anestésico y asfixiante. Atendiendo a este análisis es indispensable conocer los tipos de riesgos que más se producen y su frecuencia.

## **1.2 Tipos de riesgos que más se producen y frecuencia en instalaciones de gas licuado.**

### **❖ Incendios.**

Duarte, (2009) plantea que un incendio es una reacción química de oxidación - reducción fuertemente exotérmica, siendo 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. La energía necesaria para que tenga lugar dicha reacción se denomina energía de activación; esta energía de activación es la aportada por los focos de ignición. La reacción de combustión es una reacción exotérmica. De la energía desprendida, parte es disipada en el ambiente produciendo los efectos térmicos del incendio y parte calienta a más reactivos; cuando esta energía es igual o superior a la necesaria, el proceso continúa mientras existan reactivos. Se dice entonces que hay reacción en cadena. Por lo tanto, para que un incendio se inicie tienen que coexistir tres factores: combustible, comburente y foco de ignición que conforman el conocido "triángulo del fuego"; y para que el incendio progrese, la energía desprendida en el proceso tiene que ser suficiente para que se produzca la reacción en cadena. Estos cuatro factores forman lo que se denomina el "tetraedro del fuego".

### **❖ Explosiones.**

Según Nolan, (2011) las explosiones son el incidente más destructivo que puede ocurrir en una industria de hidrocarburos. Las explosiones ocurren de manera tan rápida que sistemas convencionales de protección contra incendio son ineficaces. Una vez que ocurre la explosión los daños pueden ser el resultado de la sobrepresión (presión desarrollada por el gas en expansión), el pulso (el diferencial de presión a través de la planta) y proyectiles (fragmentos que son

lanzados debido a la expansión de los gases y que pueden causar daños. Los niveles de sobrepresión de la explosión son considerados los más peligrosos.

Casal *et al*, (2001) señala que en general se puede definir una explosión como una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía. Esta liberación tiene que ser, no obstante, bastante rápida y concentrada para que la onda que se genera sea audible. No es necesario, pues, que se produzcan daños para poder considerar este fenómeno como explosión. La energía liberada puede haber sido almacenada inicialmente bajo una gran variedad de formas: nuclear, química, eléctrica o de presión. Las explosiones generalmente son provocadas por ignición de mezclas gaseosas inflamables, ignición de polvo combustible en suspensión, ignición de nubes de vapor no confinado, explosiones de recipientes de gas comprimido, gas licuado o líquido sobrecalentado y reacciones fuera de control. Las explosiones pueden ser de dos tipos: deflagraciones y detonaciones. En una deflagración, la velocidad de la onda de sobrepresión, en el medio sin reaccionar, es subsónica; la onda de presión tiene una fase positiva y una fase negativa. En una detonación, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es supersónica; la onda de sobrepresión muestra un incremento de la presión casi instantáneo hasta el pico de máxima presión, presenta también una fase positiva y otra negativa.

Wells, (2003) establece que la mayoría de las explosiones son producto del proceso de combustión que provoca liberación de calor y la formación de productos gaseosos en expansión. El proceso de explosión ocurre mucho más rápido que el fuego, debido a que los reactantes ya se encuentran mezclados cuando la ignición tiene lugar, esto ocurre generalmente cuando el combustible es un gas, un vapor o un líquido o sólido finamente dividido, es decir aerosol y polvo. Las explosiones son generalmente reconocidas cuando la presión es súbitamente liberada, acompañada del estallido del recipiente, la proyección de fragmentos, la liberación de productos calientes y la generación de la explosión y ruido. Las explosiones pueden ser físicas, químicas o eléctricas.



### ❖ **Jet Fire.**

El escenario *Jet Fire* (dardo de fuego) tiene lugar cuando se produce el vertido accidental de vapores o gases inflamables a presión, en áreas de proceso o depósitos de almacenaje. Incendios de características similares son muchas veces intencionados. Se utilizan para eliminar los gases no deseados que se generan durante la extracción del petróleo (antorchas de producción) o en refinerías y petroquímicas, para evacuar subproductos no deseados o gases emitidos a través de válvulas de seguridad. Prácticamente no hay diferencias entre los dardos de fuego generados de manera accidental y los intencionados. Quizás lo más importante es que los chorros intencionados salen a través de una válvula y ello permite que el gas pueda alcanzar velocidades de salida supersónicas. (Casal *et al*, 2001)

Según Wells, (2003) el *Jet Fire* ocurre cuando un líquido o gas inflamable se prende fuego, después de ser liberado por una pequeña abertura en un tanque o tubería. La presión con que es liberado el gas genera una larga llama que es estable bajo la mayoría de las condiciones. Para el caso de los líquidos o compuestos de dos fases, parte del líquido puede verterse en el suelo y formar lo que se conoce como piscina o charco de fuego. La duración de un *Jet Fire* está determinada por la velocidad con que se libera la sustancia y la capacidad del recipiente o la fuente que lo alimenta. La longitud de la llama se incrementa considerablemente con la velocidad del flujo de salida de la sustancia.

### ❖ **Charco de fuego**

Los charcos de fuego al aire libre se originan cuando se produce un escape o vertido de un líquido combustible sobre el suelo y en el exterior. En caso de que se produzca la ignición del líquido derramado, el tipo de fuego resultante dependerá en gran medida de si el escape es continuo o instantáneo. Si el escape es instantáneo, el líquido se irá esparciendo hasta que encuentre una barrera o hasta que se haya consumido todo el combustible en el incendio. En caso de un escape continuo, el charco irá creciendo hasta que la velocidad de combustión iguale el

caudal de vertido. De este modo se llega a un diámetro de equilibrio, que se mantiene mientras no se detiene la fuga. Por otra parte, si el líquido queda retenido dentro de algún recipiente o área protegida, como puede ser una cubeta, el incendio no dependerá tanto de si el escape es instantáneo o continuo. (Casal, 2001)

#### ❖ **BLEVE y bola de fuego.**

BLEVE es el acrónimo inglés de "*boiling liquid expanding vapour explosion*" (explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido). Este tipo de explosión ocurre sobre todo en tanques que almacenan gases licuados a presión y sobrecalentados, en los que por ruptura o fuga del tanque, el líquido del interior entra en ebullición y se incorpora masivamente al vapor en expansión. (Bosch, 2006)

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. Desde un punto de vista riguroso estas explosiones no siempre tienen efectos térmicos. No obstante, en la mayoría de los casos reales la sustancia involucrada es combustible; esto provoca que la explosión sea seguida por la formación de una bola de fuego, de efectos muy graves. En realidad, cuando se habla de BLEVE, en general a lo que se hace referencia realmente es a la combinación de los fenómenos BLEVE-bola de fuego, esto es, un accidente que involucra simultáneamente efectos térmicos y mecánicos.

El BLEVE es un accidente que sucede con cierta periodicidad: las sustancias que lo pueden producir son relativamente comunes en la industria, y abundan las instalaciones susceptibles de sufrirlo. Por otra parte, de vez en cuando sucede durante el transporte con las connotaciones especiales que esto conlleva. El origen puede ser diverso, pero una de las causas más frecuentes es la acción del fuego sobre un recipiente. (Casal *et al*, 2001 y Wells, 2003)

Wells, (2003) añade que las bolas de fuego ocurren cuando son liberadas rápidamente una considerable cantidad de sustancia y ocurre una rápida ignición. El fuego se enciende con suficiente rapidez para causar un fuego masivo que asciende en forma de bola. Los daños que provoca son causados por la radiación térmica y la falta de oxígeno. Las bolas de fuego pueden producirse por fuego o explosiones de contenedores de gases.

#### ❖ **Nube tóxica.**

Se refiere a escenarios que determinan fenómenos peligrosos asociados a la concentración de una sustancia emitida al ambiente (de tipo térmico para sustancias inflamables y de tipo químico para sustancias tóxicas). Un escape de un producto tóxico o inflamable en forma gaseosa, o bien en forma líquida en condiciones de ser vaporizado, produce una nube de gas. Esta nube, según sea la velocidad de salida del producto, se comporta como un chorro gaseoso en cuyo caso la dispersión del producto depende de la velocidad y de la presión de salida. Cuando el gas o vapor está suficientemente diluido y su velocidad es menor que la velocidad del viento, se dispersará a corta distancia en función de las condiciones meteorológicas.

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

Según aparece en la base de datos del *Center for Chemical Process Safety*, (2012) en la mayoría de los accidentes vinculados al almacenamiento y transportación de GLP, los escenarios más frecuentes son BLEVE, Bola de Fuego, Explosiones, *Jet Fire* e Incendios. Algunos de los accidentes más significativos, en los cuales se han manifestado uno o más de estos escenarios, son los sucedidos en Feyzin, Francia en enero de 1966, Los Alfaques, España en julio de 1978, Ciudad de Méjico en noviembre 1984 y Piper Alpha, North Sea en julio de 1988.

Un análisis realizado a partir de las características de los diferentes escenarios, las propiedades químico-físicas del GLP y los accidentes consultados, le permiten al autor de este trabajo suponer que para el GLP los escenarios de Explosión, *Jet Fire*, BLEVE y Bola de Fuego son los más típicos y frecuentes. De estos escenarios los de mayor impacto son las Explosiones y el BLEVE + Bola de Fuego, este último, propio de los recipientes de almacenamiento de gases licuado.

En correspondencia con el análisis realizado anteriormente, se procede a estudiar algunas de las principales técnicas de análisis y evaluación de estos riesgos.

### **1.3 Análisis y evaluación de riesgos.**

Según Casal *et al*, (2001) y Vílchez *et al*, (2006) la evaluación de los diversos riesgos asociados a una determinada instalación industrial o, incluso, al transporte de mercancías peligrosas, se lleva a cabo mediante el análisis de riesgos, orientado a la determinación de los aspectos siguientes:

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

Para conocer el riesgo de una situación o actividad concreta de forma precisa se debe realizar un análisis de riesgo mediante modelos físico-matemáticos y modelos de vulnerabilidad, con los cuales se pueden prever las consecuencias del accidente y a continuación estimar con técnicas apropiadas, como el árbol de fallos, la frecuencia con que probablemente podrá ocurrir el mismo.

Para la realización de un análisis de riesgos el primer paso a tener en cuenta es el estudio de los acontecimientos externos, lo cual no supone ningún procedimiento especial sino un análisis con buen criterio de los peligros posibles. (Casal *et al*, 2001)

Referente a los propios peligros del sistema, la primera forma de analizarlos es el análisis histórico; y debe ser complementado con otro procedimiento que implique una exploración exhaustiva de todos los orígenes posibles de accidentes como HAZOP (Análisis de Riesgo y Operabilidad). Existen otros métodos que permiten realizar análisis similares, pero HAZOP es el más utilizado.

Una vez identificados los peligros, deben cuantificarse todas sus consecuencias posteriores. Para calcular sus consecuencias se utilizan modelos matemáticos de los accidentes. Teniendo en cuenta que lo realizado son cálculos aproximados. Conocidos ya los valores aproximados de los efectos, debe establecerse cuáles serán las consecuencias cuando éstos incidan en personas, en bienes o en el entorno, lo cual se suele realizar mediante los denominados modelos de vulnerabilidad, que relacionan efectos y consecuencias. Para realizar un análisis de riesgo completo, deberá determinarse la probabilidad de ocurrencia de cada uno de los riesgos analizados, a través de un estudio estadístico y de probabilidad. (Casal *et al*, 2001)

Según Nolan, (2011) la metodología adoptada para la evaluación y análisis formal de riesgo, para la industria del petróleo y otras relacionadas con ella, contiene los siguientes pasos en común:

1. Definición de la industria.
2. Identificación de los peligros.
3. Desarrollo de los eventos del incidente.
4. Análisis de frecuencia.
5. Modelar las consecuencias.
6. Determinar el impacto.
7. Determinación de la suma de los riesgos.
8. Los efectos de medidas de seguridad.
9. Revisión contra el criterio de aceptación de riesgo.

Técnicamente, el análisis de riesgos puede enfocarse de dos maneras distintas (Casal *et al*, 2001 y Vílchez, 2006):

- Tratamiento probabilístico: se analizan las consecuencias de accidentes en relación con sus frecuencias (estimadas) de suceso. Las medidas de protección y prevención se dirigen prioritariamente a las situaciones incidentales de mayor riesgo. En ciertos países este planteamiento es obligatorio en cualquier proyecto de desarrollo industrial, como es el caso de Holanda (Ale, 1991).
- 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 un tratamiento menos riguroso que el probabilístico y que exige menor esfuerzo. Este planteamiento es, básicamente, el que se recoge en los "Estudios de Seguridad" que han de elaborar las empresas químicas en cumplimiento de la Directiva Seveso II.

### **1.3.1 Análisis de riesgos. Técnicas de análisis más usadas en la industria.**

Nolan, (2011) define el análisis de riesgos como un término que es aplicado a técnicas analíticas que son usadas para la evaluación de peligros. Técnicamente, el análisis de riesgos es una herramienta para la evaluación de la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de un incidente con implicación de peligro. Estas técnicas pueden ser tanto cuantitativas como cualitativas dependiendo del nivel de análisis requerido.

Kletz, (1986) señala que antiguamente el método más usado para la determinación de riesgos era poner en marcha la industria y esperar para ver que sucedía. Sobre lo cual Casal *et al*, (2001) plantea que es una metodología que se encuentra fuera de uso, debido a la rápida evolución tecnológica y el aumento paralelo de la cantidad de accidentes.

Para la identificación del peligro potencial de los procesos industriales, la tendencia de las últimas décadas ha sido desarrollar técnicas o métodos de análisis cada vez más racionales y sistemáticos. (Casal *et al*, 2001)

Las técnicas de identificación de riesgos se pueden agrupar en dos grandes grupos según establece Casal *et al*, (2001).

**Métodos cualitativos:** Auditoría de Seguridad (*Safety review*), Análisis Histórico de Accidentes, Análisis Preliminar de Peligros (*Preliminar Hazard Analysis, PHA*), Listados de Control (*Checklist*) ¿qué pasa si....? (*What if?*), Análisis de Riesgo y Operabilidad (*HAZard and OPerability analysis, HAZOP*) y Análisis de Modos de Fallo y Efectos (*Failure Moda and Effect Analysis, FMEA*).

**Métodos semicuantitativos:** índice Dow, índice Mond, índice SHI y MHI (*Substance Hazard Index and Material Hazard Index*), Árboles de Fallos (*Fault Tree, FT*) y Árboles de Sucesos (*Event Tree, ET*).

Según Nolan, (2011) en los estudios de análisis de riesgos pueden usarse indiferentemente las técnicas de evaluación cualitativa y cuantitativa para considerar el riesgo asociado con una industria. El nivel y magnitud de estas revisiones deben ser correspondientes con el nivel de riesgo que la industria representa.

Vílchez, (2006) y Casal *et al*, (2001) coinciden en que para realizar un análisis exhaustivo de riesgos de tipo probabilístico como el Árbol de Fallos y el Árbol de Sucesos deben estudiarse en primer lugar los posibles accidentes internos a través de un análisis histórico. Además que puede realizarse otros análisis de tipo determinísticos que complementarían ese análisis como el análisis HAZOP.

Para completar el análisis de riesgo es necesario estimar su frecuencia y evaluar o cuantificar sus efectos y sus consecuencias. La frecuencia o la probabilidad con que tendrá lugar un accidente en un cierto intervalo de tiempo, denominado acontecimiento principal, puede estimarse mediante su descomposición en los acontecimientos o causas que lo pueden provocar. Las secuencias o relaciones que existen entre éstos se expresan mediante puertas lógicas (y,o) en los denominados árboles de fallos (Hauptmanns, 1986; Ramos, 1990 y Piqué, 1994).

Según CCPS, (1992) y Casal *et al*, (2001) existen cinco limitaciones inherentes a todas las técnicas presentadas anteriormente:

- ✓ La exhaustividad del estudio.
- ✓ La reproducibilidad de los resultados.
- ✓ Lo inextricable de las conclusiones.
- ✓ La importancia de la experiencia.
- ✓ El nivel de confianza generado por el estudio.

Es importante señalar que pese a estas limitaciones Casal *et al*, (2001) plantea que debe señalarse su versatilidad y su amplia utilización y que en realidad, la experiencia demuestra que en una gestión del riesgo adecuada, basada siempre en una identificación correcta, el número de accidentes tiende a disminuir paralelamente a la disminución de la magnitud de sus consecuencias.

### **1.3.2 Descripción de las técnicas de análisis.**

#### **❖ Identificación del peligro asociado a las sustancias.**

Según Casal *et al*, (2001) el primer paso para una identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial es la identificación y caracterización de las sustancias involucradas en el proceso. Siendo los datos de interés básicamente las propiedades de la sustancia o sustancias involucradas en el proceso.

El interés de estos datos radica principalmente en el efecto que las condiciones de operación producen sobre las sustancias involucradas. El conocimiento de las posibles condiciones de operación normal y anómala permite considerar y eliminar diferentes sustancias como susceptibles de provocar un accidente.

Para identificar estas relaciones entre sustancias y condiciones de proceso se puede utilizar el sentido común, la experiencia y técnicas más sistemáticas como son las matrices de interacción.



## ❖ **Análisis Histórico de Accidentes.**

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

Vílchez, (2006) plantea que en el análisis histórico de accidentes se estudian los accidentes ocurridos en fábricas, procesos, instalaciones u operaciones similares a la que se está analizando. Este estudio facilita el establecimiento a priori de los puntos débiles del sistema.

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

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

Vílchez, (2006) y las "Guías Técnicas" editadas por las Autoridades Competentes (DGPC-a, 1994; DGPC-b, 1994 y DGPC-c, 1994), proponen esta técnica como

método cualitativo de apoyo a otros sistemas de identificación de riesgos, que requieren una mayor dedicación y especialización técnica, como HAZOP.

El análisis histórico se lleva a cabo consultando un banco de datos sobre accidentes. Estos bancos, informatizados, permiten una consulta exhaustiva, y sobre todo muy rápida, de la información disponible. Esta información, obtenida de una manera directa, debe considerarse complementaria y no substitutoria de la que se obtendrá de un estudio sistemático. (Vílchez, 2006)

La recogida de información de un accidente debe constituir una verdadera investigación. El estudio detallado del accidente puede enfocarse, a grandes líneas, de dos formas distintas (Casal *et al*, 2001):

- ✓ Evaluación de la magnitud de las consecuencias: daños a personas, bienes o medio ambiente.
- ✓ Establecimiento de la situación que existía con anterioridad al accidente y de la secuencia de sucesos que lo provocaron.

El conjunto de estas dos vías de investigación permite elaborar el historial del accidente. La información contenida en este historial resulta de gran utilidad para (Casal *et al*, 2001):

- ✓ Detectar medidas técnicas u organizativas para reducir la probabilidad de que se repitan los accidentes.
- ✓ Elaborar medidas de protección, internas y externas, que reduzcan las consecuencias probables del eventual accidente.
- ✓ Contrastar los modelos de evaluación de efectos y consecuencias.

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

- ✓ La instalación objeto de estudio no es exactamente igual a las que ya han sufrido accidentes.

- ✓ La información de los accidentes suele ser incompleta y en muchas ocasiones, inexacta o de uso restringido.
- ✓ No da información sobre todos los accidentes posibles sino únicamente sobre los que han sucedido y se han documentado hasta la fecha.
- ✓ El acceso a los bancos de datos implica un cierto costo.

Además Carol, (2001) señala sobre las limitaciones de este método que la información recogida es limitada, ya que solo se registran incidentes que acaban en eventos de relativa importancia y se obvian incidentes potencialmente más peligrosos que los anteriores pero que por circunstancias fortuitas favorables no desencadenan un gran accidente. Así mismo las informaciones recogidas no son completas y están afectadas de impresiones importantes, lagunas y datos confidenciales desconocidos.

#### ❖ **Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).**

El análisis de peligros y operabilidad (*HAZrd and OPerability Analysis*, HAZOP), es un método que fue diseñado en Inglaterra en la década de los sesenta por *Imperial Chemical Industries (ICI)* para aplicarlo al diseño de plantas de fabricación de pesticidas. (Casal *et al*, 2001)

Nolan, (2011) plantea que HAZOP es una técnica de revisión cualitativa de investigación sistemática. Se emprende para realizar un examen crítico sistemático del proceso que ya se encuentra en funcionamiento o que está en la fase de proyecto. Para evaluar el potencial de riesgo que se levanta en conjunto de la desviación en las especificaciones del plan y los efectos en la industria en general. Esta técnica normalmente se realiza por un equipo calificado que usa una técnica de incitar palabras guías para identificar las preocupaciones del plan intencional. De estas palabras guías, el equipo puede identificar escenarios que pueden resultar un riesgo o un problema operacional. Entonces se discuten las consecuencias del riesgo y medidas para reducir la frecuencia con que el riesgo ocurrirá. Esta técnica ha ganado la aceptación entre las industrias de procesos,

como una herramienta eficaz para la seguridad de la planta y mejoras de operabilidad.

Vílchez, (2001), Knowlton, (1981), Ramos, (1987) y Bestratén (1989) señalan que la metodología de análisis de riesgos más usada es HAZOP. Y que este método se fundamenta en el hecho de que la probabilidad de que aparezcan problemas aumenta cuando las condiciones y variables de operación se alejan de sus valores normales. En él se utilizan una serie de palabras guías (no, más, menos, otro, etc.) destinadas a facilitar la búsqueda de posibles desviaciones al ser aplicadas sistemáticamente a los diferentes componentes de la instalación estudiada. Esta es una tarea que hay que realizar en equipo, muy metódica y según un procedimiento formalizado, generándose una notable cantidad de información sobre las condiciones de deriva de la instalación y los sistemas de control que permiten corregir esta situación.

El análisis HAZOP es una técnica deductiva para la identificación, evaluación cualitativa y prevención del riesgo potencial y de los problemas de operación derivados del funcionamiento incorrecto de un sistema técnico. El análisis pretende, mediante un protocolo relativamente sencillo, estimular la creatividad de un equipo de expertos con diferente formación para encontrar los posibles problemas operativos. (Casal *et al*, 2001; Piccinini, 1985 y Carol, 2001)

El paso previo para el desarrollo del análisis es la definición del objetivo y el alcance del estudio, de los límites físicos de la instalación o el proceso que se quiera estudiar y de la información requerida. Además debe estudiarse el sistema o proceso ya definido para conocer la información disponible, prepararla, organizar el equipo de estudio, planear la secuencia de estudio y las sesiones de trabajo. (Servicio de Protección Civil de Barcelona, 2002 y Casal, 2001)

El método de análisis HAZOP presupone tres hipótesis que constituyen sus principales limitaciones. (Casal *et al*, 2001 y Servicio de Protección Civil de Barcelona, 2002):

- ✓ La instalación está bien diseñada, en relación con la experiencia, el conocimiento de los procesos implicados y la aplicación de las normas y códigos pertinentes.
- ✓ Los materiales de construcción han sido los adecuados y la construcción y el ensamblaje se han hecho correctamente.
- ✓ Los análisis son una “fotografía instantánea” donde se mezclan sucesos de efecto inmediato con sucesos de elevada inercia temporal.

“El resultado principal de los análisis HAZOP es un conjunto de situaciones peligrosas y problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente o a la mitigación de las consecuencias de los problemas operativos. El análisis HAZOP es un instrumento de estudio muy indicado para procesos en fase de diseño y construcción, donde la documentación está totalmente actualizada y las recomendaciones del análisis no suponen modificaciones costosas ni paros en la planta. Por otro lado, a causa de la laboriosidad del método y del grado de detalle que el estudio proporciona, el análisis HAZOP solo es indicado para instalaciones específicas y no como método general de análisis.” (Casal *et al*, 2001)

### ❖ **Árboles de Fallos.**

La elaboración de Árboles de Fallos (*Fault Tree (FT)*) es una técnica de análisis creada por *Bell Telephone Laboratories* al inicio de la década de los sesenta, para mejorar la fiabilidad del sistema de control del lanzamiento de cohetes. Posteriormente, su utilización se extendió a otros campos de la industria y en especial, fue muy empleada en la industria nuclear. (Casal *et al*, 2001)

El análisis mediante Árboles de Fallos según señala Carol, (2001) es una técnica cuantitativa que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un fallo determinado a partir del conocimiento de la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores y causales mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos, denominada, Árbol de Fallos.

Casal *et al*, (2001) coincide en que la utilización de Árboles de Fallos es una técnica deductiva que se aplica a un sistema técnico o proceso para la identificación de los sucesos y las cadenas de sucesos que pueden conducir a un incidente no deseado, en general un accidente o fallo global de un sistema. Además añade que esta técnica permite la cuantificación de la probabilidad o frecuencia con que puede producirse un suceso.

Nolan, (2011) añade que el Árbol de Fallos es una técnica que se enfoca en un incidente en particular, a menudo llamado evento inicial, y entonces se construye un diagrama de sucesiones lógicas de todas las secuencias de eventos concebibles que pudiera llevar a ese incidente.

Los fallos que se dan en sistemas técnicos pueden ser básicamente de dos tipos (Casal *et al*, 2001):

- ✓ Fallos primarios: aquellos atribuibles a defectos de los componentes y no a la interacción con el exterior (por ejemplo, una soldadura mal hecha, etc.).
- ✓ Fallos Secundarios: aquellos atribuibles a la interacción del exterior con los componentes. Estos siempre son el resultado de condiciones anómalas de funcionamiento y tienen una causa bien definida.

El primer paso para la elaboración de un Árbol de Fallos es un estudio previo del sistema o proceso que se quiere analizar con el fin de determinar los incidentes susceptibles de ser analizados. Este estudio suele realizarse con otras técnicas de identificación, como el análisis histórico de accidentes, análisis HAZOP, etc. (Casal *et al*, 2001 y Nolan, 2011)

Una vez determinados los accidentes que se quieren analizar, deben establecerse los límites de la instalación. Seguidamente, es necesario identificar los fallos de los elementos y las relaciones lógicas que conducen al accidente. El proceso finaliza cuando todos los fallos identificados son primarios y no es posible determinar sus causas. (Casal *et al*, 2001)

Los Árboles de Fallos contienen la información de cómo la concatenación de diferentes fallos conduce al fallo global del sistema. Desgraciadamente, esta información no resulta muy evidente en Árboles de Fallos de tamaño considerable. (Cox y Tail, 1991; CCPS, 1992; Hauptmanns, 1986; Lees, 1986 y *National Technical Information Service U. S.*, 1981)

Existen dos maneras de analizar los Árboles de Fallos, de forma cualitativa y de forma cuantitativa. El análisis cualitativo que posibilita conocer los conjuntos mínimos de corte. Donde cada uno de los conjuntos mínimos representa una manera distinta de llegar al suceso no deseado. Los métodos cualitativos de análisis de Árboles de Fallos son básicamente los métodos analíticos, el cálculo matricial y los métodos numéricos. Mientras que el análisis cuantitativo permite calcular básicamente la frecuencia de acontecimiento de un accidente y la indisponibilidad del sistema. (Casal *et al*, 2001)

La elaboración de Árboles de Fallos requiere una elevada formación técnica, junto con un conocimiento detallado del sistema o proceso y de sus modos de fallo. Además, se requiere que por lo menos la información sobre el proceso sea completa en las partes más esenciales. El nivel de detalle de la información disponible condiciona el nivel de detalle del análisis.

La limitación principal de la metodología es que únicamente se pueden representar fallos “totales”, es decir, siempre se considera el fallo completo del elemento involucrado en la cadena de sucesos que conduce al accidente y representan fotografías instantáneas del proceso. (Casal *et al*, 2001)

Carol, (2001) señala que para el desarrollo y análisis de un Árbol de Fallo se requiere mucho tiempo y personal especializado con un conocimiento completo de la planta en sus distintas etapas del proceso. Además agrega que la utilización de este método de análisis permite un conocimiento exhaustivo de las relaciones causa efecto existentes entre los diversos fallos y genera unas recomendaciones de mejoras muy concretas y además recomienda su utilización en instalaciones

complejas y que incluso es aplicable para valorar la incidencia del fallo humano en la probabilidad del suceso capital.

La ventaja principal de esta técnica es su representación gráfica pues es un modelo gráfico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo del sistema. (*Cox y Tail, 1991; CCPS, 1992; Hauptmanns, 1986 y National Technical Information Service U. S, 1981*).

### ❖ **Checklists**

Las *checklists* o listas de comprobación son utilizadas usualmente para determinar la adecuación a un determinado procedimiento o reglamento (*The Netherlands Organisation of Applied Scientific Research, 1997*).

Nolan, (2011) define las *Checklist* como listas estándares que identifican los rasgos de protección comunes requeridos para industrias típicas que son comparados con el diseño de la industria y sus operaciones. Los riesgos son expresados por la omisión de sistemas de seguridad o rasgos del sistema.

Según el Servicio de Protección Civil de Barcelona, (2002) las *checklist* son listas escritas de detalles o pasos, que tiene como fin el verificar el estado de un sistema. Las *checklists* contienen posibles fallos y causas de sucesos peligrosos. Están basadas en la experiencia en la operación, y son muy empleadas en los análisis de riesgos. Tradicionalmente las *checklists* varían mucho en su nivel de detalle, y se usan frecuentemente para comprobar la adecuación a estándares y prácticas empleadas.

El propósito de una *checklist* es proporcionar un estímulo en la valoración crítica de todos los aspectos del sistema, más que determinar requerimientos concretos. En general, una *checklist* es enormemente útil para identificar peligros habituales y conocidos. (Servicio de Protección Civil, 2002)

La aplicación de una *checklist* está limitada exclusivamente por la experiencia del autor. Por lo tanto, estas listas deben ser realizadas por equipos multidisciplinares



que tengan amplia experiencia en el sistema o la actividad que están analizando. Frecuentemente, las *checklists* se realizan simplemente organizando la información que se tiene de códigos, estándares y regulaciones. Son documentos vivos, que deben ser auditados y actualizados regularmente. (Servicio de Protección, 2002)

Además es un método que permite comprobar con detalle la adecuación de las instalaciones. Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior al cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas. Sin embargo, es un método que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado. (Servicio de Protección Civil, 2002)

#### ❖ **Método del Árbol de Sucesos.**

“El Árbol de Sucesos o análisis de secuencias de sucesos es un método inductivo que describe la evolución de un suceso iniciador sobre la base de la respuesta de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas.

Partiendo del suceso iniciador y teniendo en cuenta los factores condicionantes involucrados, el árbol describe las secuencias accidentales que conducen a distintos eventos.” (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil, 1994)

El Árbol de Sucesos es un modelo lógico que matemáticamente y gráficamente retrata la combinación de eventos de fallo y circunstancias en una sucesión de incidentes, expresado como una estimación anual. (Nolan, 2011)

Wells, (2003) señala que los Árboles de Sucesos son la mejor herramienta para el análisis de consecuencias. Estos son usados para realizar un análisis probabilístico. El cual se organiza mediante una estructura de árbol en la que cada bifurcación se decide a partir de la ocurrencia de un fenómeno u otro.

Según señala Bestratén *et al*, (1996) mediante los Árboles de Sucesos se pretende estructurar la secuencia de eventos básicos que desencadena un tipo de accidente concreto, estableciendo también las probabilidades de ocurrencia si el conocimiento de los sucesos básicos lo permiten. Carol, (2001) puntualiza que desde un punto de vista abstracto, es similar al análisis de Árboles de Fallos. Sin embargo los sucesos básicos en este caso no son fallos de los sistemas sino alternativas de las diferentes situaciones que pueden darse.

La construcción del árbol comienza por la identificación de los N factores condicionantes de la evolución del suceso iniciador. A continuación se colocan estos como cabezales de la estructura gráfica. Partiendo del iniciador se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo. (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil, 1994)

De esta forma, se obtienen  $2^N$  combinaciones o secuencias teóricas. Sin embargo, las dependencias entre los sucesos hacen que la ocurrencia o éxito de uno de ellos pueda eliminar la posibilidad de otros, reduciéndose así el número total de secuencias. La disposición horizontal de los cabezales se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente. (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil, 1994)

Carol, (2001) plantea que una vez realizado el análisis se obtiene una representación gráfica en forma de árbol horizontal en la que quedan representadas todas las posibles evoluciones del sistema según se den o no las diferentes alternativas planteadas hasta los sucesos accidentales finales (BLEVE, nube de gas, explosión, dispersión, etc.).

Wells, (2003) establece los siguientes pasos para el análisis de Árboles de Sucesos:

1. Identificar el evento iniciador que generalmente es un evento de fallo correspondiente al escape de un material peligroso.
2. Identificar el desarrollo del incidente.
3. Construir el árbol de evento. Este es construido de izquierda a derecha, en cada nodo se muestran las alternativas analizadas.
4. Clasificar los resultados del incidente.
5. Estimar la posibilidad de ocurrencia de cada suceso.
6. Clasificar los resultados y determinar su probabilidad.

Como se considera que los factores condicionantes son sucesos independientes, cada una de las secuencias, tiene asociada una frecuencia. De esta forma también se cumple que la suma de las frecuencias de todas las secuencias accidentales es igual a la frecuencia del iniciador. (Servicio de Protección Civil, 2002 y Dirección General de Protección Civil a, b y c, 1994)

Según el Servicio de Protección Civil, (2002) y la Dirección General de Protección Civil, (1994) la metodología del Árbol de Sucesos posee las siguientes ventajas y desventajas.

*Ventajas:*

- ✓ Permite un estudio sistemático y exhaustivo de la evolución de un suceso.
- ✓ Su aplicación es muy sencilla.

*Inconvenientes:*

- ✓ El valor obtenido está sujeto a incertidumbre por la dificultad que existe normalmente en evaluar las probabilidades de los factores asociados.
- ✓ Si el árbol es grande, su tratamiento puede hacerse laborioso.

Carol, (2001) hace énfasis en que por su especificidad y grado de desarrollo son aplicables a las mismas instalaciones y bajo las mismas condiciones de los Árboles de Fallos.

A partir de los estudios de los registros históricos de accidentes Wells, (2003) define las probabilidades de ocurrencia de sucesos tales como: la aparición de un escape, la posibilidad de una ignición inmediata, el tipo de clima, la explosión de la nube de vapor, la intrusión de una llama y las acciones de mitigación. Algunas de las probabilidades son:

- Probabilidad de ignición inmediata produciendo un *Jet Fire*: 0.1
- Probabilidad de que no ocurra ignición inmediata: 0.9
- Razón de explosión de la nube de vapor con clima D5: 1/4
- Razón de explosión de la nube de vapor con clima F2: 2/3
- Probabilidad de un BLEVE: 0.5
- Probabilidad de piscina de fuego (ignorada): 0

Wells, (2003) señala que la probabilidad, para los diferentes sucesos, por él calculada pueden ser usadas para plantas similares y que en el caso de las estabilidades atmosféricas su cálculo depende de las condiciones climatológicas de la zona de estudio. Atendiendo a estos criterios el autor de este trabajo considera que estas probabilidades deben ser calculadas para la zona de estudio a partir de datos climatológicos que sean representativos de la misma.

#### ❖ **¿Qué pasa si...?**

Nolan, (2011) señala que este es un método de revisión de seguridad mediante las preguntas de investigación ¿Qué pasa si? que se preguntan por un equipo experimentado y conocedor del sistema bajo revisión dónde hay preocupaciones sobre los posibles eventos indeseados y donde posteriormente se proporcionan recomendaciones para la mitigación de riesgos identificados.

“El objetivo fundamental de este método es la detección y análisis de las desviaciones sobre los procesos y condiciones previstas intentando evitar aquellos eventos que pueden resultar no deseables. Básicamente consiste en responder cualitativamente a una batería de preguntas del tipo ¿Qué pasa si? En relación

con la cantidad o la concentración de las materias primas o en relación con las variables del proceso o los servicios necesarios.

Para llevar a cabo este análisis de forma estructurada se recomienda seguir la línea de proceso desde la recepción de los materiales hasta la entrega del producto terminado. En la primera fase se le pide a los participantes que planteen cualquier pregunta del tipo ¿Qué pasa si? en relación con cada unidad o etapa del proceso. Una vez recopiladas todas estas situaciones se intentará dar respuesta a cada una de ellas con la participación de especialistas si fuera necesario. Una vez identificados los peligros y sus posibles consecuencias deben proponerse las medidas disponibles para minimizarlos.

Resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por tanto muy económico). Sin embargo, aun realizándose de modo estructurado, puede pasar por alto algunos peligros menos evidentes pero no por ello menos graves.” (Carol, 2001)

A partir de la revisión de las diferentes técnicas de análisis de riesgo se puede apreciar que el análisis histórico de accidentes es muy adecuado, como técnica inicial de análisis, pues es una metodología recomendada por la mayoría de los expertos por ser simple y económica, por no comprometer muchos recursos materiales o humanos y que además detecta peligros absolutamente reales que ya en el pasado se han puesto de manifiesto. Es también opinión del autor de este trabajo que debería ser complementada con la técnica del Árbol de Sucesos, HAZOP u otra similar, para poder realizar un análisis más exhaustivo de los riesgos de cualquier industria.

#### **1.4 Software de evaluación de áreas de atmósferas peligrosas.**

El Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente de Cuba recientemente ha oficializado el software ALOHA como herramienta para la determinación de atmósferas peligrosas que se originan a partir de diferentes accidentes.

El software ALOHA (*Areal Locations of Hazardous Atmospheres*, Localización de áreas de atmósferas peligrosas) es un simulador que evalúa el desplazamiento y dispersión de vapores y gases. Fue elaborado por técnicos y especialistas estadounidenses en respuesta a las emergencias de los vertimientos de los vapores químicos. Este programa es capaz de proporcionar la información en situaciones donde haya vertimientos de vapores y gases, calculando 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. (Tapanes, 2010).

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

Uno de los métodos más usados para la determinación de las muertes causadas por un incidente dado son las Ecuaciones Probit: estas son ecuaciones que se usan para relacionar la intensidad de un fenómeno con el daño que puede causar este, tales como un incendio o explosión. (Wells, 2003)

Según TNO, (1989) las funciones Probit fueron derivadas para determinar los daños de quemaduras de primer y segundo grado, así como las muertes por efecto de la radiación.

Según Wells, (2003) los efectos de la sobrepresión generada por una explosión no pueden ser determinados a través de las ecuaciones Probit, sino que deben ser estimadas a partir de otros métodos de evaluación de riesgos o de datos brindados por él, que correlacionan, a partir de su experiencia, los daños generados por la explosión con las correspondientes sobrepresiones. Los datos antes mencionados son mostrados en el anexo 3.

### **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 la misma.

Moya, (2010) ha realizado estudios climatológicos en la zona de estudio 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 Moya, (2010) señala que el clima responde a una serie de condiciones físico-geográficas del lugar. En esta área el clima se condiciona por algunas de estas características. 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 norteamericanas, garantizan la llegada de condiciones subtropicales, de manera intermitente, unas veces más, otras menos en una parte del año. La orografía y el relieve es otro aspecto a tener en cuenta a la hora de analizar el comportamiento del clima, sobre todo en la influencia que tiene en la ocurrencia de fenómenos meteorológicos como las nieblas, abundantes en esta región.

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 febrero (20.5 °C) y enero (20.6 °C).

Según Moya, (2010) el comportamiento del régimen térmico define la zona como un régimen de tipo costero, caracterizado por un régimen térmico muy cálido con días cálidos de pequeña oscilación diaria y días frescos. Existiendo 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 agradablemente cálidos o 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 del análisis del régimen térmico cuatro

épocas fundamentales: un verano, un invierno y dos períodos de transición: uno del invierno al verano y otro del verano al invierno.

En lo relativo al comportamiento de la humedad y los vientos en la zona de estudio López, (2010) y Nguyen, (2011) concuerdan en que:

La humedad relativa muestra valores elevados durante el año dada la cercanía a la costa. El promedio anual es de 79%, con valores medios mensuales superiores a 75% durante casi todo el año, sólo durante abril, que constituye el mes menos húmedo del año alcanza un valor del 73%, mientras en septiembre y octubre, los meses de mayores reportes de humedad relativa alcanza valores del 84%.

El viento predominante en la zona es del Este (E), con una frecuencia de ocurrencia de 15.7%, seguido del Este Noreste (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 alcanza un valor de 52.2%, más un 33% de frecuencia de las calmas, dejan 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 obteniendo los resultados que se muestran en el anexo 4.

Según la opinión del autor 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 de la zona de estudio, lo cual está fundamentado en los estudios estadísticos realizados por López, (2010).



## **1.7 Conclusiones parciales.**

- El análisis histórico y el Árbol de Sucesos son técnicas de análisis de riesgo cuya aplicación es muy sencilla y permite obtener los resultados de manera muy organizada.
- Las ecuaciones Probit es un método muy simple para la determinación de las posibles afectaciones a las personas de la planta y sus alrededores.

## Capítulo 2: Materiales y métodos.

En este capítulo se realiza la caracterización de la planta de almacenamiento de gas licuado del petróleo ubicada en la latitud 23-04 norte y la longitud 81-34 oeste, al norte de la Bahía de Matanzas. Además se describen las metodologías de análisis y evaluación de riesgos que serán empleadas en esta investigación.

### 2.1 Caracterización de la planta de gas licuado del petróleo.

La planta de Gas Licuado inaugurada en 1985 ubicada en la costa norte de la Bahía de Matanzas, consta con una gama de balas de procedencia rusa y norteamericana existiendo 21 balas de gas licuado dispuestas en 4 cubetos. La relación de las balas por cubetos es mostrada en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1:** Distribución de las balas de almacenamiento de gas licuado del petróleo.

Cubeto	Cantidad de balas.	Capacidad de las balas. (m <sup>3</sup> )	Capacidad del cubeto. (m <sup>3</sup> )
1	8	100	510
2	5	200	850
3	5	200	850
4	3	200	761.6

**Fuente:** Elaboración propia.

La planta posee además una estación de bombas con cinco bombas de las cuales dos se utilizan en el llenado de cilindros y tres en la carga y descarga de buques y camiones cisterna y una estación de dos compresores.

La planta tiene como objetivo principal la recepción y distribución de dicho producto, el cual llega a la base por vía marítima, se almacena en las balas, se comercializa en la provincia distribuyéndose en carros cisternas a hoteles y

edificios multifamiliares, además se llenan balones de 25 y 100 libras para la distribución al resto de la población.

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

El primer paso para una identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial es la identificación y caracterización de las sustancias involucradas en el proceso. Los datos de interés para los análisis posteriores son básicamente las propiedades de las sustancias y sus condiciones en el proceso.

Según Orozco (2012), la caracterización de las sustancias involucradas en un proceso se desarrolla mediante la siguiente guía:

- ✓ *Identificación del producto.*
  - Nombre del producto.
  - Fórmula Química.
  - Etiquetado de peligro (frases R y S), así como las que la identifican por otros efectos.
  
- ✓ *Datos Físicos.*
  - Apariencia.
  - Punto de ebullición.
  - Punto de fusión.
  - Solubilidad.
  - Densidad.
  - TLV - Límite superior de inflamabilidad.
  - IPVS. Límite inferior de explosividad.
  - Punto de congelación.
  - Temperatura de auto ignición.
  - Coeficiente de expansión.
  - Temperatura de inflamación.
  - Biodegradabilidad.

- Corrosión.
- Capacidad calorífica.
  
- ✓ *Peligros para la salud.*
- Concentración permisible.
- Exposición permisible.
- Emergencias.
- Partes del cuerpo que afecta.
- Forma de entrada al organismo.
- Toxicidad (se debe llenar una tabla con la siguiente información).

Tabla 2.2 Modelo para la clasificación toxicológica de la sustancia analizada.

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

- ✓ *Condiciones de almacenamiento y manipulación.*
- Nombre del producto almacenado.
- Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal, etc.).
- Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro).
- Material de construcción.
- Protección del recipiente (interior o exterior).
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización.
- Fecha de fabricación del recipiente.
- Condiciones de almacenamiento de las 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.
- ✓ *Condiciones para su uso en el proceso.*
- Uso en el proceso.
- Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura).
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.
- Material de construcción de los equipos donde es usada.
- Protección del sistema de tuberías.

En el anexo 1 aparece la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso (Perry R.H, 1997).

### **2.3 Metodología de elaboración y análisis del Árbol de Sucesos.**

Wells, (2003) establece la siguiente metodología para la realización y análisis del Árbol de Sucesos:

1. Identificar el evento iniciador que generalmente es un evento de fallo correspondiente al escape de un material peligroso.
2. Identificar el desarrollo del incidente.
3. Construir el árbol de evento. Algunas consideraciones a tener en cuenta son:
  - El árbol de sucesos debe ser construido de izquierda a derecha.
  - En cada nodo debe mostrarse cada alternativa de eventos que puede afectar de una manera u otra el desarrollo del accidente.
  - Cada suceso debe ser indicado sobre cada uno de los nodos, en los cuales la respuesta sí o puede ocurrir corresponde a la rama superior y no o no puede ocurrir corresponde a la rama inferior.
4. Clasificar los resultados del incidente. El árbol de sucesos se desarrolla tan lejos como sea el resultado que se quiere obtener en el estudio. Lo más razonable es llevar el análisis hasta la ocurrencia del accidente mayor.

5. Estimar la posibilidad de ocurrencia de cada suceso. A cada nodo, así como a la ocurrencia del suceso iniciador le corresponde una probabilidad de que ese suceso haya ocurrido.
6. Clasificar los resultados y determinar su probabilidad. La frecuencia de cada resultado es determinada multiplicando la frecuencia de ocurrencia del suceso iniciador con las probabilidades condicionales a lo largo de cada camino de desarrollo hasta el suceso final. El cálculo no asume la dependencia de sucesos parciales.

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

La versión del software ALOHA que se utiliza es la 5.4.1 de febrero del 2007, lo que constituye un software muy actualizado para este tipo de evaluación.

Una de las características que posee es que emplea una serie de términos no conocidos relacionados con la ocurrencia del fuego, explosiones, y otros escenarios peligrosos, a lo cual se hace referencia:

- Se modelan tres categorías peligrosas:
  - ✓ Dispersión de gas tóxico.
  - ✓ Fuegos.
  - ✓ Explosiones.
- Se basan en los Modelos de Dispersión del Aire para estimar el movimiento y dispersión de la nube de gas químico.
- Se estima: Dispersión de gas tóxico, valores de sobrepresión desde la explosión de una nube de vapor y el área inflamable de la nube de vapor.
- Modela las áreas para emisiones de corta duración de compuestos peligrosos claves: tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión que pueden exceder los niveles de interés especificados por el usuario (*Levels of Concern LOCs*). Los resultados son representados en diagramas Y vs. X

donde nos indica la amplitud del área de localización en el eje Y, así como su alcance en el eje X (*Threatzone plot*).

- Constituye una herramienta que se usa para:
  - ✓ Respuesta de emergencia.
  - ✓ Planificación.
  - ✓ Propósitos académicos.
- No puede ser usado para:
  - ✓ Emisiones de sustancias radioactivas.
  - ✓ Licencias ambientales de chimeneas de gases.
  - ✓ Emisiones fugitivas.

La dispersión de los químicos en el aire es un término usado por los especialistas que incluye la advección y la difusión. Una nube de gas dispersándose se moverá por advección en la dirección del viento y por difusión en viento cruzado en la dirección vertical del viento. Utiliza dos modelos: Modelo Gaussiano para los gases que tienen la misma densidad que el aire y el Modelo de Gases Pesados utilizado para los gases que son más pesados que el aire donde son emitidos.

Algunos de los términos usados son:

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

Las propiedades que condicionan un fuego son:

- ✓ Volatilidad: Medida de como un compuesto químico fácilmente se evapora.

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

Si el compuesto químico en fase de vapor se pone en contacto con la fuente de ignición, solo se producirá el fuego si la relación aire-combustible está entre LEL y UEL. Compuestos con alta volatilidad y bajo temperatura de inflamación tienen bajos valores de LEL. Se conoce lo que se llama Triángulo de fuego: combustible, oxígeno y calor. Si uno de estos componentes se elimina el fuego cesa. ALOHA no modela subproductos del fuego: Hollín, humo, ceniza y compuestos químicos de la reacción.

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

- Se utilizan tres valores de LOC, medidos en kW/m<sup>2</sup>
- ✓ Rojo: 10 kW /m<sup>2</sup> Potencialmente letal en el intervalo de 60 seg.
- ✓ Naranja: 5 kW/m<sup>2</sup> quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 seg.
- ✓ Amarillo: 2 kW /m<sup>2</sup> (dolor en 60 seg).

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

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

ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.



ALOHA modela cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos.

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

La explicación de estos escenarios puede verse en el manual de usuario ALOHA, (2007).

Otras particularidades de este software son:

Este programa debe trabajarse con cuidado para predecir diferentes situaciones, las cuales son consideradas sus limitantes:

- ✓ Velocidades del viento muy bajas.
- ✓ Condiciones atmosféricas muy estables.
- ✓ Irregularidades de la concentración del compuesto químico particularmente cerca de la fuente.

Además el modelo no incorpora efectos de:

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

El programa cuenta con una base de datos de compuestos químicos de interés, sobre la base de datos DIPPR (*Department of Chemical Engineering of Brigham Young University for the Design Institute for Physical Property Data (DIPPR) of the American Institute of Chemical Engineers*), donde aparecen las

principales propiedades físicas y químicas y tiene en cuenta, a diferencia de versiones anteriores algunas soluciones, tales como ácidos anhídridos en agua y ácidos fluorhídricos en agua.

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

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

Las clases de estabilidad están ordenadas en A, B, C, D, E, F, correspondiendo con extremadamente inestable, moderadamente inestable, neutro, moderadamente estable, estable, muy estable.

En el caso que se establezca que ocurre la inversión debe darse la altura a la cual ocurre este proceso.

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

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

- ✓ Datos del sitio.
- ✓ Datos del químico.
- ✓ Datos atmosféricos.
- ✓ Fuente Directa.

✓ Zona Tratada.

Para la mejor comprensión de los resultados cualitativos de este software se hace referencia a los diferentes LOC que se utilizan:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## **2.5 Metodología para la determinación del efecto de la radiación y la sobrepresión sobre los recursos humanos y materiales.**

Una vez conocidas la radiación y la sobrepresión generada por los diferentes escenarios de riesgos, puede ser determinado el índice Probit Y según se muestra a continuación.

- ✓ Para determinar las muertes por radiación térmica de un incendio:

$$Probit Y = -14,9 + 2,56 * \ln \left( \frac{t_e I_e^3}{10^4} \right) \quad 2.1$$

Donde:

$t_e$ =Tiempo de exposición efectiva (segundos)

$I_e$ = Intensidad de radiación efectiva ( $Wm^{-2}$ )

- ✓ Para determinar las muertes por una explosión debido a una sobrepresión:

$$\text{Probit } Y = -77,1 + 6,91 * \ln(p^0)$$

2.2

Donde:

$p^0$  = Pico de sobrepresión (N/m<sup>2</sup>).

Una vez conocidos los valores de la ecuación Probit Y estos deben ser transformados a porcentaje a través de la tabla que se muestra a continuación. Los resultados obtenidos representan el porcentaje de muertos provocados por la radiación o la sobrepresión a la cual fueron evaluadas las ecuaciones Probit Y.

**Tabla 2.3:** Transformación a porcentaje de las ecuaciones Probit.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	-	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,87	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,50	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,80	4,82	4,85	4,87	4,90	4,92	4,95	4,97
50	5,00	5,03	5,05	5,08	5,10	5,13	5,15	5,18	5,20	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,50
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33

**Fuente:** Wells, (2003).

El efecto de la sobrepresión sobre las estructuras será determinado según la tabla mostrada en el anexo 3 que relaciona los picos de sobrepresión con los daños provocados por estos últimos y que fue obtenida a través de la experiencia de diferentes investigadores según señala Wells, (2003).

## Capítulo 3. Análisis de los resultados.

En este capítulo se determina a través del árbol de sucesos los escenarios de riesgo que con mayor probabilidad pudieran ocurrir en la zona estudiada. Además se evalúan los escenarios obtenidos mediante el software ALOHA, analizándose las áreas de atmósferas peligrosas generadas por ellos. Se determina también el efecto que tendría la ocurrencia de estos escenarios sobre los trabajadores de la planta y la población cercana a la misma y además se estima el impacto económico de un posible accidente.

### 3.1 Análisis del árbol de sucesos.

El árbol de sucesos es utilizado como técnica inicial para la determinación de los riesgos en la Planta de Gas, ya que a través de él será posible determinar cuál es la probabilidad de ocurrencia de cada posible escenario de riesgo, así como la secuencia de sucesos que deben ocurrir para que se verifique el mismo. El árbol de sucesos o análisis de secuencias de sucesos referido a la zona investigada se muestra a continuación.

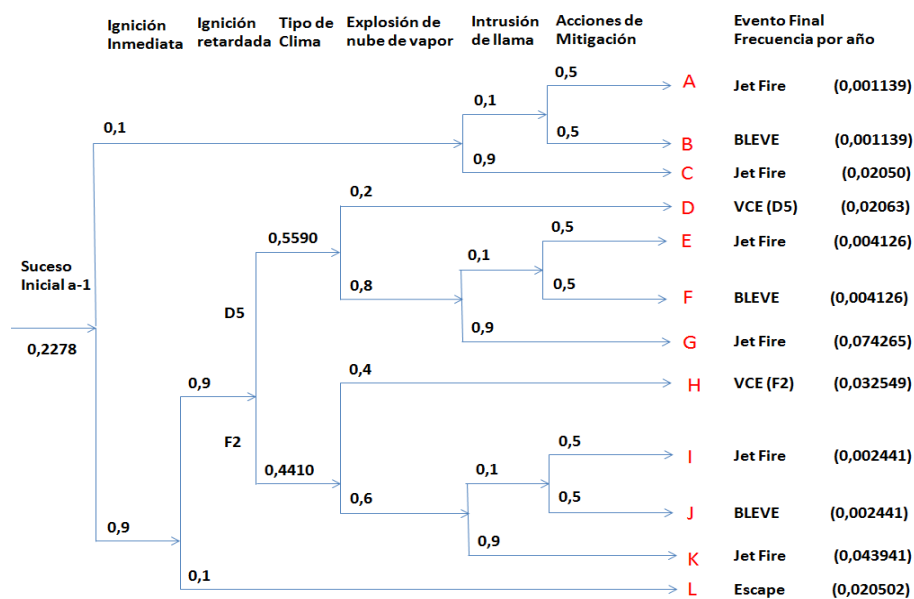


Figura 3.1: Árbol de sucesos.

Puede notarse que a la evolución del suceso iniciador, que es un escape, le corresponde una probabilidad de 0.2278 veces/año, la cual fue estimada mediante un análisis histórico de accidentes de los escapes de gas que reporta Khan *et al*, (1997), los cuales aparecen en el anexo 5. La frecuencia del escape fue estimada a partir de dieciocho escapes en un período de 79 años.

Siguiendo la técnica seleccionada se pasa a establecer una secuencia de sucesos cuya probabilidad en ocasiones se fundamenta en los estudios realizados por Wells, (2003), donde señala que la probabilidad, para los diferentes sucesos por él calculada, pueden ser usadas para plantas similares y que en el caso de las estabilidades atmosféricas su cálculo depende de las condiciones climatológicas de la zona de estudio. Por esta razón para los sucesos: ignición inmediata, no ignición, explosión de la nube de vapor, intrusión de llama y acciones de mitigación se utilizan las probabilidades reportadas por Wells, (2003), dado que las mismas no dependen en modo alguno de las características climatológicas de la zona estudiada y sí dependen de una cadena de sucesos comunes en estos tipos de plantas.

Teniendo en cuenta el criterio de diferentes especialistas como Vílchez, (2006), Wells, (2003) y las propias consideraciones del software ALOHA la probabilidad de la estabilidad climatológica debe ser estimada teniendo en cuenta el país y las características de la zona de estudio. Apoyándose en los registros climatológicos reportados por Moya, (2010), que se muestran en el anexo 4, y en el software ALOHA, se definen en este trabajo las dos estabilidades atmosféricas prevalecientes en la zona estudiada.

Para el área donde se encuentra ubicada la planta de gas licuado del petróleo, las estabilidades atmosféricas que se manifiestan son: F y D.

La estabilidad F corresponde a la categoría de atmósfera estable y se manifiesta para velocidades del viento no mayores de 3m/s y cobertura nubosa media o baja. Por otra parte la estabilidad D corresponde a la categoría de atmósfera neutra y se

manifiesta para velocidades del viento mayores de 3m/s y cobertura nubosa media.

Tabla 3.1: Comportamiento de la frecuencia, velocidad y dirección del viento para la zona estudiada en un período de 10 años.

Rumbos	Frecuencia (%)	v (m/s)
<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	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	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	0
<b>Total</b>	100	

**Fuente:** Elaboración propia.

Casal, (2001), Wells, (2003) y Moya, (2010) coinciden en que la categoría atmosférica estable (F), corresponde casi en su totalidad a las noches, donde las velocidades del viento son bajas, propias de los vientos del terral y se alternan con largas horas de calma. Como puede observarse en la tabla 3.1 estas bajas velocidades del viento ocurren en las direcciones que van desde el Sur al Oeste cuya frecuencia es de 44.10% incluyendo los períodos de calma que poseen velocidades del viento despreciables.

La estabilidad atmosférica correspondiente a la categoría neutra (D) aparece en las horas del día, donde las velocidades del viento son generalmente mayores de 3m/s y que corresponden principalmente a los vientos que soplan de Norte a Este y en una menor frecuencia en otras direcciones. Por lo tanto la frecuencia asociada a esta categoría de estabilidad es de 55.90%.



Atendiendo a los resultados obtenidos del análisis histórico realizado por Wells, (2003) y la factibilidad de su aplicación a plantas similares a la estudiada, se definen como escenarios posibles: explosión de vapores que se expanden al hervir el líquido (BLEVE), dardo de fuego (*Jet Fire*), explosión de la nube de vapor (*vapor cloud explosion*) y escape (*toxic area of vapor cloud*). Cada escenario que se muestra en el árbol de sucesos se corresponde con lo que históricamente ha ocurrido en accidentes donde se encuentra involucrado el GLP bajo la ocurrencia de los sucesos que se muestran en el árbol.

El análisis del árbol de sucesos debe realizarse siguiendo cada una de las secuencias lógicas de sucesos, partiendo del suceso iniciador del accidente. Si se toma, por ejemplo, la salida superior que termina con un escenario de *Jet Fire* el análisis sería:

Una vez ocurrido un escape mayor de GLP (suceso iniciador), el cual ocurre con una frecuencia estimada de  $0.2278 \text{ a}^{-1}$  el 10% de las veces se produce la ignición inmediata del GLP, lo que representaría que  $0.02278 \text{ a}^{-1}$ , se presenta un escape y su ignición inmediata. De este resultado solo en el 10% de los casos ocurre la intrusión de una llama, lo que se traduce como que  $0.002278 \text{ a}^{-1}$  aparece un escape con ignición inmediata e intrusión de una llama. Finalmente el 50% de las veces que han ocurrido estos sucesos se han llevado a cabo acciones de mitigación, sucediendo esta concatenación de sucesos con una frecuencia de  $0.001139 \text{ a}^{-1}$ . Además se conoce por estudios históricos realizados por Wells, (2003) que para estas condiciones (escape de GLP, ignición inmediata, intrusión de una llama y realización de acciones de mitigación) el escenario que se ha manifestado es el *Jet Fire*. Conociendo esto se puede decir entonces que la frecuencia de ocurrencia de un *Jet Fire* para los sucesos acontecidos es de  $0.001139 \text{ a}^{-1}$ .

De esta misma manera se pueden analizar cada una de las cadenas del árbol de sucesos, obteniéndose la frecuencia de ocurrencia de cada escenario, para las

condiciones de estabilidad del clima de la zona de estudio y la frecuencia del suceso inicial.

Una observación detallada de los posibles escenarios que aparecen en el árbol de sucesos muestra que la cadena de sucesos de mayor frecuencia es la G, la cual está asociada a un *Jet Fire* y posee una frecuencia de  $0.074265 \text{ a}^{-1}$ , lo que equivale a que cada 13.47 años se puede presentar este escenario de accidente bajo esta cadena de sucesos. Otros escenarios significativos en relación con su frecuencia son también los *Jet Fire* correspondientes a las cadenas de sucesos C y K con períodos de aparición de 48.78 y 22.75 años respectivamente, y las explosiones de las nubes de vapor de las cadenas de sucesos D y H con períodos de aparición de 48.47 y 30.72 respectivamente. Por último el escenario de escape correspondiente a la cadena de sucesos L puede manifestarse una vez cada 48.77 años.

De los datos obtenidos del árbol de sucesos se calculó la frecuencia de ocurrencia de cada escenario, así como el período en año en que puede presentarse el escenario en una planta de este tipo. Los datos obtenidos se muestran en la tabla siguiente.

**Tabla 3.2:** Frecuencia y período de aparición de los escenarios.

Escenario	Frecuencia ( $\text{a}^{-1}$ )	Periodo de aparición (años)
<i>Jet Fire</i>	0,146412	6,830041253
BLEVE	0,007706	129,7690112
VCE	0,053179	18,80441528
Nube Tóxica	0,020502	48,7757292

**Fuente:** Elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla anterior el escenario que con mayor frecuencia puede aparecer es el *Jet Fire*, pudiendo aparecer en la planta de almacenamiento de gas licuado aproximadamente una vez cada 7 años, de este

modo una explosión de la nube de vapor (VCE) puede ocurrir una vez cada 19 años aproximadamente y un escape cada 49 años. El mayor período de aparición le corresponde al BLEVE que es por tanto el de menor frecuencia.

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

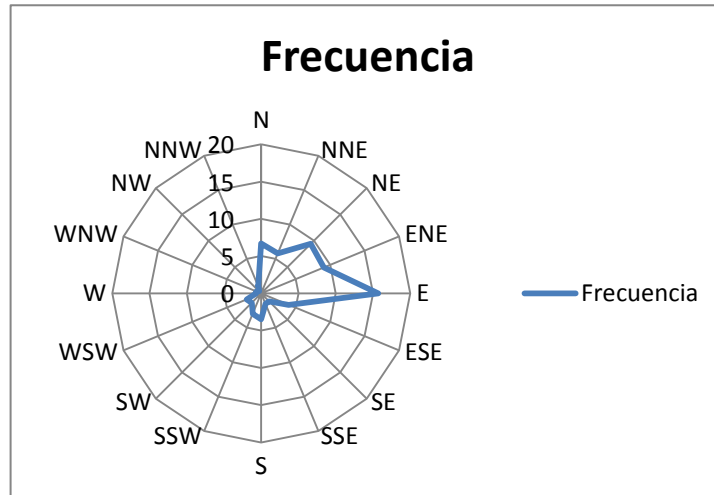
Para la evaluación de las áreas de atmósferas peligrosas que se pueden originar ante diferentes escenarios de accidentes en la planta de GLP, mediante el uso del software ALOHA, se toman determinadas consideraciones en este trabajo, que están relacionadas con el análisis de las variables climatológicas de la zona de estudio y los resultados del árbol de sucesos. Estas consideraciones son:

1. Trabajar con los valores medios de las variables que caracterizan a la década analizada, según los estudios realizados por Moya, (2010), López, (2010) y Nguyen, (2011).
2. Evaluar solo los escenarios que aparecen en el árbol de sucesos, según los resultados de este trabajo.

Además de estas consideraciones se definirá:

- En que direcciones del viento se determinarán las áreas de atmósferas peligrosas, atendiendo a un análisis de la frecuencia de la dirección del viento y de la representatividad de cada estabilidad.
- Los escenarios que son independientes de las variables climatológicas para brindar una síntesis de los resultados más importantes.

De acuerdo con las frecuencias de la dirección del viento reportadas por Moya, (2010), se aprecia que la misma varía considerablemente. A continuación se muestra su comportamiento.



**Figura 3.2:** Comportamiento de la frecuencia de la dirección del viento en la zona de estudio (10 años).

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se nota al primer cuadrante de la rosa de los vientos le corresponden las mayores frecuencias, lo que quiere decir que en la zona objeto de estudio los vientos soplan predominantemente en las direcciones que van desde el norte hasta el este. Este resultado respalda la opción de poder evaluar las áreas de atmósferas peligrosas solo para direcciones del viento correspondientes a este cuadrante, sin embargo de limitarse el estudio a estas direcciones, se estarían excluyendo aquellas otras cuyas velocidades son bajas, así como los momentos de calma que corresponden a condiciones climáticas de estabilidad F, que serían los de mayor riesgo. Por lo tanto se considera también:

3. Evaluar las direcciones del viento del primer cuadrante de la rosa de los vientos (N-E), a la que corresponde una estabilidad de categoría D y aquellas direcciones del viento que corresponden al tercer cuadrante (S-W), cuya categoría de estabilidad es F.

Si se demuestra que existen escenarios, cuyas características no dependen de las variables climatológicas o sus variaciones son despreciables es posible evaluar los mismos atendiendo únicamente al dispositivo de almacenamiento y sus

condiciones de operación. Para ello se realizó un procesamiento mediante el propio software ALOHA de los escenarios del árbol de sucesos, para velocidades máximas y mínimas, y meses de características climatológicas distintas.

4. La dispersión de la nube de vapor es uno de los escenarios que si depende de las condiciones climatológicas, de acuerdo con los resultados ofrecidos por Nguyen, (2011) y se evaluará atendiendo a la cuarta consideración y para todos los meses del año.

En el caso de la explosión de una nube de vapor (VCE) es necesario definir el área de atmósfera peligrosa atendiendo a los valores de las variables climatológicas, según los resultados obtenidos mediante el software ALOHA y que se muestran en las tablas 3.3 y 3.4.

**Tabla 3.3:** Evaluación de VCE para velocidad del viento de 4.69 m/s y variaciones acentuadas en las demás condiciones climatológicas.

	Zona roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)
<b>Enero</b>	-	499	1300
<b>Abril</b>	-	527	1300
<b>Julio</b>	-	451	1200
<b>Octubre</b>	-	525	1300

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.4:** Evaluación de VCE para velocidad del viento de 2.33 m/s y variaciones acentuadas en las demás condiciones climatológicas.

	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)
<b>Enero</b>	-	1100	2300
<b>Abril</b>	-	1200	2400
<b>Julio</b>	-	1200	2500
<b>Octubre</b>	-	1200	2400

**Fuente:** Elaboración propia.

En relación con el área roja, que es la de mayor sobrepresión, se puede observar en la tabla 3.3, que para una misma velocidad del viento y amplias diferencias en los valores de las otras variables climatológicas, la extensión del escenario de

accidente puede llegar a tener una variación máxima de 76 metros y para el área amarilla, que es la de menor sobrepresión esta variación puede llegar hasta los 200 metros, distancias estas que a los efectos de un accidente son importantes.

En lo referente a la velocidad mínima puede observarse en la tabla 3.4 que las variaciones de la extensión de las áreas para los diferentes meses son aproximadamente similares a las variaciones ocurridas cuando la velocidad es máxima.

Si se compara las áreas para velocidades máxima y mínimas manteniendo el resto de las condiciones climatológicas en los mismos valores, se puede ver que las áreas peligrosas son mayores cuando las velocidades del viento son bajas. Por lo que la velocidad del viento tiene una influencia notable en la conformación del escenario.

5. La explosión de la nube de vapor (VCE) se evalúa para las direcciones del viento establecidas en la cuarta consideración y las variables climatológicas de todos los meses del año.

En el caso del BLEVE, para una misma velocidad la distancia de las áreas de atmósferas peligrosas tiene una variación muy pequeña, con respecto a amplias variaciones del resto de las condiciones climatológicas y además se puede observar que las áreas son independientes de la velocidad del viento, ya que para distintas velocidades del viento e iguales condiciones climatológicas las extensiones de las áreas son las mismas. Ver tablas 3.5 y 3.6.

**Tabla 3.5:** Evaluación de BLEVE para velocidad del viento de 4.69 m/s y variaciones acentuadas en las demás condiciones climatológicas.

	<b>Zona Roja (m)</b>	<b>Zona Naranja (m)</b>	<b>Zona Amarilla (m)</b>	<b>Diámetro de la Bola de Fuego (m)</b>
<b>Enero</b>	520	733	1100	243
<b>Abril</b>	514	726	1100	242
<b>Julio</b>	508	717	1100	242
<b>Octubre</b>	511	721	1100	242

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.6:** Evaluación de BLEVE para velocidad del viento de 2.33 m/s y variaciones acentuadas en las demás condiciones climatológicas.

	<b>Zona Roja (m)</b>	<b>Zona Naranja (m)</b>	<b>Zona Amarilla (m)</b>	<b>Diámetro de la Bola de Fuego (m)</b>
<b>Enero</b>	520	733	1100	243
<b>Abril</b>	514	726	1100	242
<b>Julio</b>	508	717	1100	242
<b>Octubre</b>	511	721	1100	242

**Fuente:** Elaboración propia.

6. El escenario conocido como BLEVE será evaluado, atendiendo únicamente al dispositivo de almacenamiento y sus condiciones de operación.

Si se sigue la misma estrategia de análisis que en los casos anteriores se puede afirmar que en el caso del *Jet Fire* no existen diferencias significativas en las áreas en función de las condiciones climatológicas y de las velocidades del viento. Ver tabla 3.7 y 3.8.

**Tabla 3.7:** Evaluación de *Jet Fire* para velocidad del viento de 4.69 m/s y variaciones acentuadas en las demás condiciones climatológicas.

	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)	Zona Llama (m)
<b>Enero</b>	98	149	236	89
<b>Abril</b>	102	153	242	89
<b>Julio</b>	104	155	244	89
<b>Octubre</b>	101	152	240	89

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 3.8:** Evaluación de *Jet Fire* para velocidad del viento de 2.33 m/s y variaciones acentuadas en las demás condiciones climatológicas.

	Zona Roja (m)	Zona Naranja (m)	Zona Amarilla (m)	Longitud Llama (m)
<b>Enero</b>	92	143	232	89
<b>Abril</b>	96	148	238	89
<b>Julio</b>	96	148	239	89
<b>Octubre</b>	95	146	236	89

**Fuente:** Elaboración propia.

7. El escenario *Jet Fire* será evaluado, atendiendo únicamente al dispositivo de almacenamiento y sus condiciones de operación.

### 3.3 Resultados de la aplicación del software ALOHA.

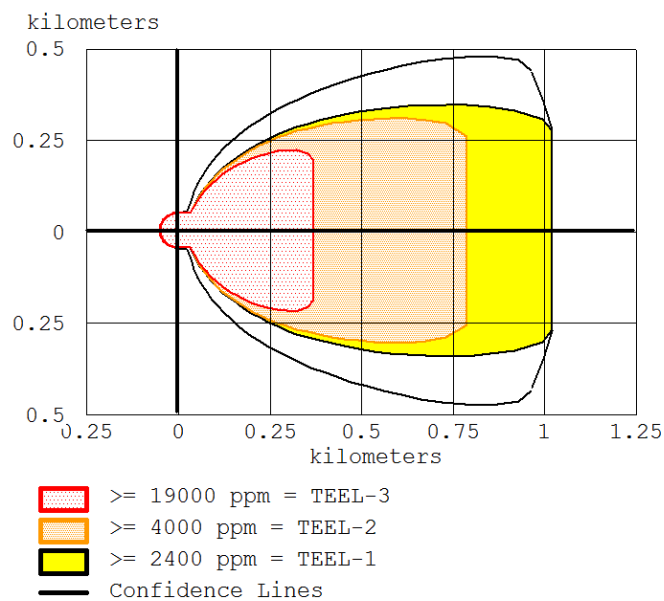
Esta investigación se realizó para determinar los escenarios de riesgo para todas las balas de almacenamiento tanto las de 200 m<sup>3</sup>, como las de 100 m<sup>3</sup>. Los resultados de los diferentes escenarios que se pueden manifestar aparecen en el anexo 6, sin embargo se analizan a continuación solo los escenarios vinculados a las balas de 200 m<sup>3</sup>. Un análisis similar se puede realizar para las balas de 100 m<sup>3</sup> a partir de los resultados reportados.



### 3.3.1 Análisis de los resultados de las áreas de la nube de tóxica.

Para estimar el comportamiento de la nube tóxica de GLP se aplicó el software para cada mes del año, obteniéndose las diferentes áreas exteriores de peligro, así como, el comportamiento de dicha nube en áreas interiores ubicadas a 200 metros de la fuente, distancia la que se encuentra el centro poblacional más cercano. Además se tuvieron en cuenta las consideraciones explicadas anteriormente.

A continuación se muestra el área de atmósfera peligrosa para la dirección del viento Este, que se corresponde con la de mayor frecuencia del primer cuadrante para el mes de Enero.



**Figura 3.3:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica del GLP en las zonas exteriores para vientos del Este a razón de 4,28 m/s.

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

Además aparecen tres zonas delimitadas por diferentes colores, donde cada uno de ellos representa la concentración del tóxico que tiene la zona de acuerdo

a los niveles de concentración que establece la EPA (*Environment Protection Agency*). La línea negra representa la zona de posible afectación y que debe ser de cuidado por los daños que en la misma se pueda producir si variara de repente alguna de las variables climatológicas.

La zona roja posee una concentración mayor o igual a 19000 ppm, a la que le corresponde un TEEL-3, que es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos a ella se encuentran en condiciones de riesgo para su vida.

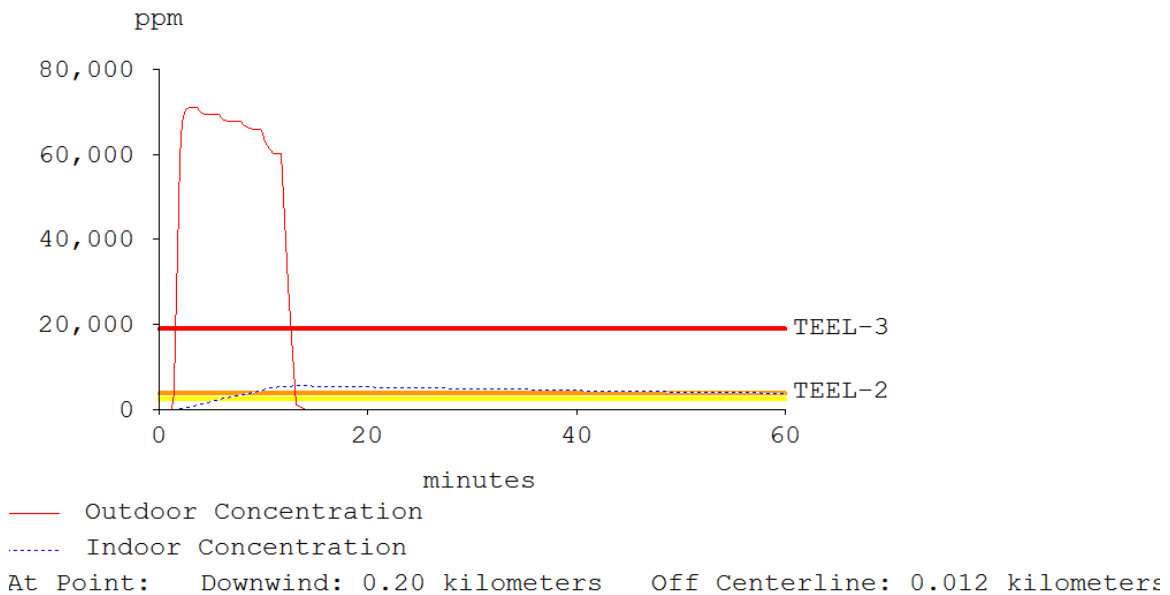
La zona naranja posee una concentración mayor o igual a 4000 ppm, que equivale a un TEEL-2, que es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos a ella pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impidan tomar decisiones para protegerse.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 2400 ppm, a la que le corresponde un TEEL-1, que equivale a la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable.

Como se observa en el mes de Enero para la dirección Este, bajo las condiciones climatológicas correspondientes, se obtiene que en la nube tóxica el área de mayor peligro alcanza más de 250 m de largo y poco menos de 250 m de ancho. Se nota que el área en la cual se puede afectar irreversiblemente la salud de las personas y/o dejarlas en condiciones que les impidan hacer esfuerzos por conservar su vida, tiene una longitud aproximadamente 750 m y un ancho de 300 m. Finalmente se puede interpretar de la figura 3.3 que el área de menor riesgo posee aproximadamente un largo y un ancho de 1000 y 350 metros respectivamente.

El software permite a su vez obtener el comportamiento de la concentración de la sustancia tóxica al cabo de 60 minutos en el interior de locales que pueden estar ubicados a diferentes distancias del foco de la dispersión. En este caso se

muestra el comportamiento de la concentración de la sustancia de estudio a 200 m de la fuente.



**Figura 3.4:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 200 m de la fuente.

Obsérvese en la figura 3.4 que la línea discontinua (azul) representa la concentración del tóxico en el interior de los locales y la continua (roja) en el exterior, además el término *At Point* identifica exactamente la distancia a la que se hace la estimación en la dirección del viento.

Para el desarrollo de la investigación las concentraciones se estimaron para las tres zonas que ofrece el ALOHA (roja, naranja y amarilla), fijando para el área roja una distancia de 200 metros de la fuente y para la zona naranja y amarilla la distancia media entre el límite inferior y superior de cada una de ellas.

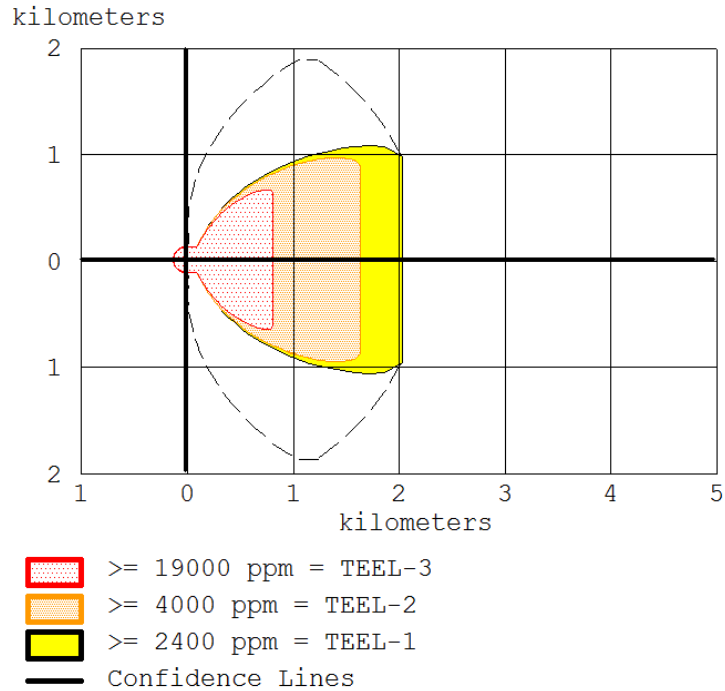
De acuerdo con lo anterior la figura 3.4 corresponde a un punto situado a 200 m de la fuente de emisión, en la zona roja, aquí puede observarse que transcurridos apenas 8 minutos de la emisión, en el interior de los locales se alcanza una concentración que supera el TEEL-2, lo que equivale a decir que los individuos

expuestos a esta concentración de la sustancia pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impidan tomar decisiones para protegerse. Mientras esto puede estar ocurriendo en el interior de un local en ese mismo instante en el exterior la concentración es superior a los 60000 ppm, lo cual resulta letal, de forma tal que es imposible ofrecer ayuda a las personas que se encuentran en estos locales. Lo antes expuesto permite tener una clara idea de la magnitud del peligro ante un accidente de este tipo. Es importante señalar que a distancias menores (donde se encuentran las oficinas de la planta) esta situación tendría consecuencias más nefastas.

Un elemento más de análisis sería que transcurridos alrededor de 15 minutos la concentración de la sustancia tóxica en el exterior llega a ser nula, sin embargo el gas continúa ocupando los locales interiores a concentraciones correspondientes a TEEL-2 hasta los 60 minutos que es capaz de estimar el software, por lo tanto sería equivocado suponer que porque en el exterior no existe concentración alguna ya el peligro a cesado.

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

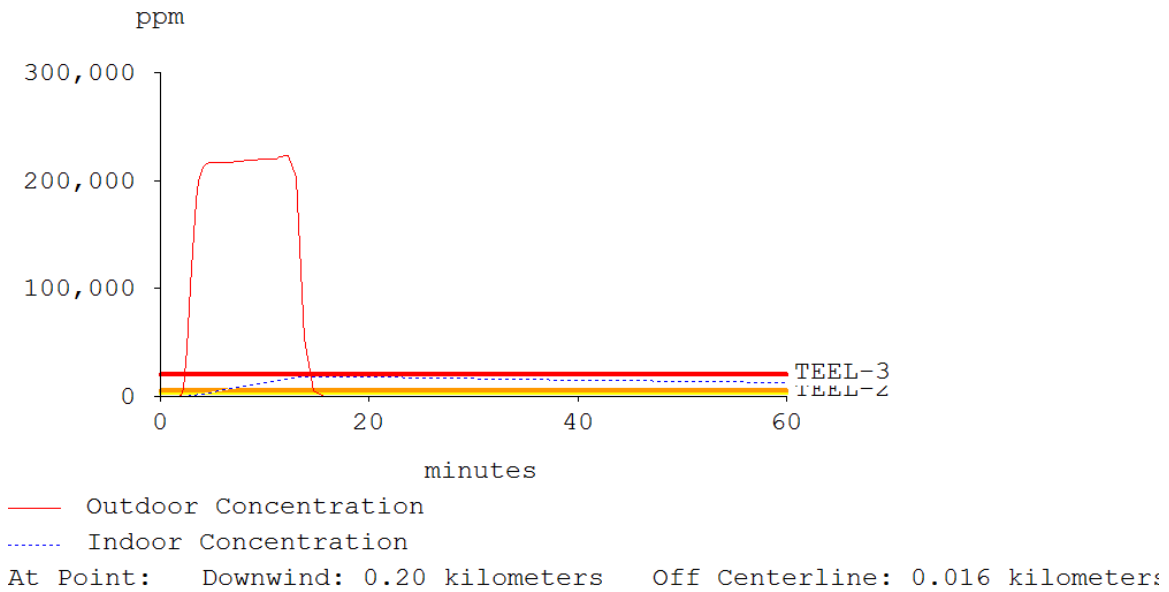
Resulta importante mostrar el comportamiento de la dispersión de la nube para el caso de menor velocidad del viento, que se corresponde con la dirección Oeste Sur Oeste (WSW) para el propio mes de enero.



**Figura 3.5:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica del GLP en las zonas exteriores.

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

De igual manera se puede observar una acentuada diferencia con respecto al caso anteriormente analizado, en cuanto al comportamiento de las concentraciones del gas a 200 metros de la fuente, según se muestra en la siguiente figura.



**Figura 3.6:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 200 m de la fuente.

Se aprecia en el gráfico que transcurridos apenas 4 minutos se alcanza un nivel de concentración en locales interiores correspondiente a TEEL-2, pero con concentraciones muy cercanas a un TEEL-3 y en ese mismo momento la concentración del gas en el exterior supera los 200000 ppm, por lo que las áreas de riesgo generadas bajo esta condiciones son potencialmente más peligrosas.

Si se realiza una comparación de las áreas para las diferentes direcciones se pueden detectar resultados importantes.

**Tabla 3.9:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica en las direcciones Este y Oeste Sur Oeste en el mes de abril.

Temperatura (°C)		29.7		Enero (Balas de 200 m <sup>3</sup> )	
Nubosidad (octas)		3			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
E	4,28	TEEL-3 (73900)	371	460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7290)	791	640	No
		TEEL-1 (3170)	1000	700	No
WSW	2,33	TEEL-3 (223000)	811	1340	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7460)	1600	2000	No
		TEEL-1 (3400)	2000	2200	No

**Fuente:** Elaboración propia.

La tabla 3.9 muestra que para la dirección Oeste Sur Oeste (WSW) se alcanzan las concentraciones correspondientes a un TEEL-2, en locales interiores en la mitad del tiempo con respecto a la dirección Este (E) y las concentraciones del gas son siempre mayores en la dirección Oeste Sur Oeste (WSW).

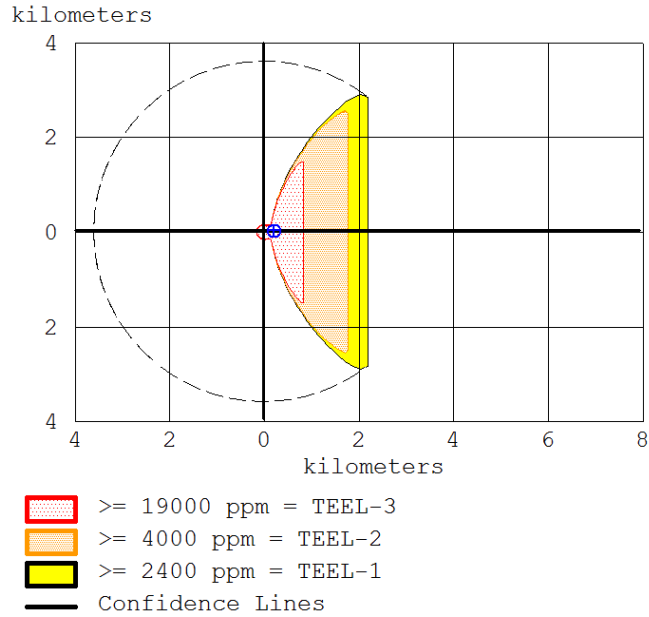
Si el viento sopla del Este (E) se verá mayormente afectada la zona urbana, cuyos límites se encuentran a escasos 200 m de la planta, pero si sopla del Oeste Sur Oeste (WSW) afecta significativamente a las instalaciones de la zona industrial, no se descarta que por el ancho de la nube se vea afectada parte de la población.

En el anexo 6 se muestran los resultados para el resto de las direcciones del viento investigadas.

### **3.3.2 Análisis de los resultados de la dispersión de la nube de tóxica, bajo condiciones de calma.**

La dispersión bajo las condiciones de calma se investigó para la dirección Este, donde la nube tóxica afectaría a la mayor cantidad de población. El análisis se realiza para las dos capacidades de almacenamiento.

Para las balas de almacenamiento de 100 m<sup>3</sup>, las áreas de riesgo se muestran a continuación.



**Figura 3.7:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica del GLP en las zonas exteriores con vientos en estado de calma para balas de  $100 \text{ m}^3$ .

Es necesario tener en cuenta que la calma corresponde a velocidades del viento menores o iguales a  $1 \text{ m/s}$  y que el escenario de dispersión no depende de la dirección del viento. Por lo que las áreas de peligros mostradas anteriormente pueden originarse en cualquier dirección, como muestra la línea de confianza.

**Tabla 3.10:** Características de la nube tóxica con vientos en calma para balas de  $100 \text{ m}^3$ .

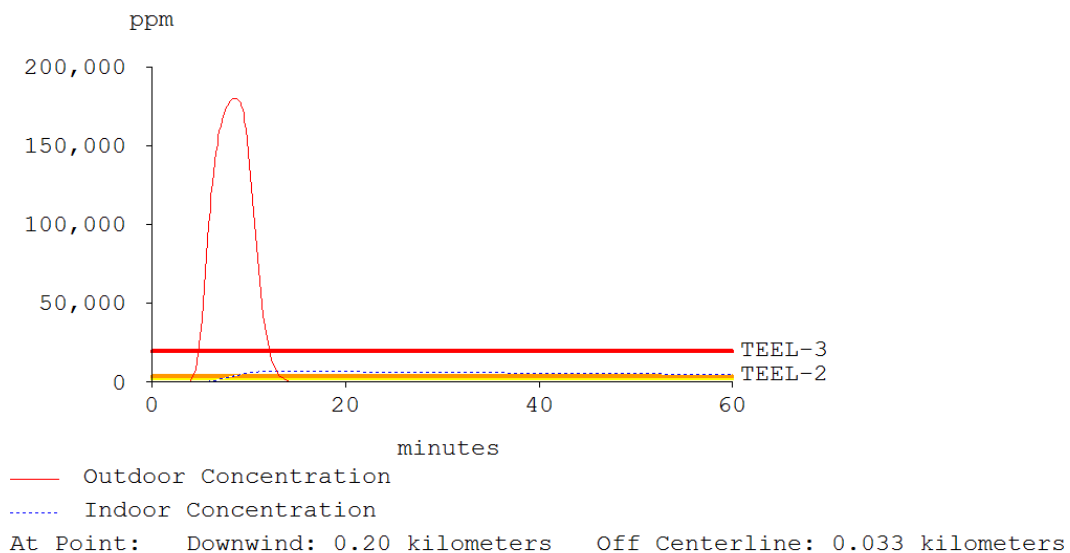
Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
1	TEEL-3 (179000)	832	3000	TEEL-2 (3-4 minutos)
	TEEL-2 (7570)	1800	5000	No
	TEEL-1 (3070)	2200	5800	No

**Fuente:** Elaboración propia.

Lo más significativo al evaluar este escenario para el momento de calma es que la longitud y ancho de la nube tóxica, según se muestra en la tabla anterior son considerablemente grandes, por lo que teniendo en cuenta que en este caso se ha



evaluado para la dirección Este, se afectaría gran parte de la población de la ciudad de Matanzas fundamentalmente la zona de Versalles. Es importante resaltar que esta afectación resulta más peligrosa, si se tienen en cuenta que para este escenario las concentraciones de la sustancia tóxica son más elevadas que para el resto de los escenarios estudiados.



**Figura 3.8:** Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica a 200 m de la fuente.

El gráfico de la figura 3.8 se origina en un punto situado a 200 m de la fuente de emisión, aquí puede observarse que transcurridos 8 minutos de la emisión, en el interior de los locales se alcanza una concentración equivalente a TEEL-2, lo que quiere decir que los individuos expuestos a esta concentración de la sustancia pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impidan tomar decisiones para protegerse, a la vez que en el exterior de los locales se alcanza una concentración aproximada de 170000 ppm correspondientes a un TEEL-3.

Transcurridos alrededor de 15 minutos la concentración de la sustancia tóxica en el exterior llega a ser nula, sin embargo el gas continúa ocupando los locales

interiores a concentraciones correspondientes a TEEL-2 hasta los 60 minutos que es capaz de estimar el software.

Una vez más debe tenerse en cuenta el efecto de la dosis que puede soportar cada persona, agravado por ser las áreas de atmósferas peligrosas lo suficientemente extensas como para afectar instalaciones de salud pública.

Un análisis similar al anterior se puede hacer en las balas de 200 m<sup>3</sup> cuando se origina este escenario, basta señalar que las áreas de riesgo y las concentraciones son mucho mayores, como se muestra en la siguiente tabla.

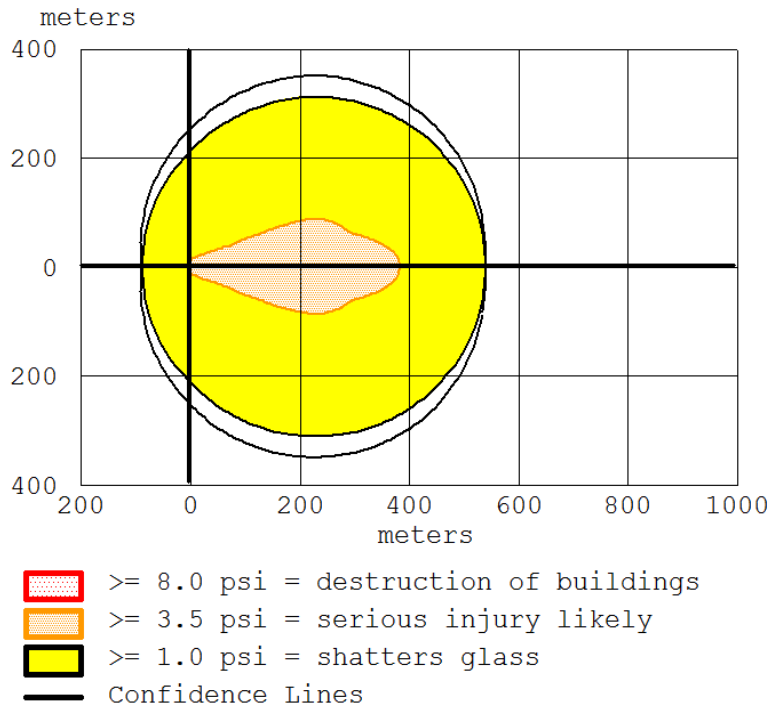
**Tabla 3.11:** Características de la nube tóxica con vientos en calma para balas de 200 m<sup>3</sup>.

Vel Media del Viento (m/s)	Concentración (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
1	TEEL-3 (179000)	1100	3600	TEEL-2 (3-4 minutos)
	TEEL-2 (7570)	2300	6000	No
	TEEL-1 (3070)	2900	7000	No

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.3.3 Análisis de los resultados de la explosión de la nube de vapor.

Este escenario se caracteriza por el surgimiento de una sobrepresión que se origina cuando la nube de gas explota, los resultados obtenidos para los diferentes meses se reportan en el anexo 6. A continuación se muestran las áreas de peligro que se originan bajo las condiciones climatológicas correspondientes al mes de enero, en la dirección del viento que mayor frecuencia presenta en la zona de estudio (Este), para balas de 200 m<sup>3</sup>.



**Figura 3.9:** Comportamiento de la sobrepresión generada por la explosión de una nube de vapor con vientos del Este a razón de 4,28 m/s.

Lo más significativo en este escenario es que no se alcanza el efecto provocado por sobrepresiones mayores que 8 psi (LOC-3), que provoca la destrucción de edificios, solo se pueden presentar como riesgos los de menor afectación que corresponden a los niveles inferiores LOC-1 y LOC-2 que provocarían la rotura de cristales y serias lesiones probables, respectivamente.

Este escenario llega a alcanzar en su zona de menor peligro un área circular de 600 m de diámetro, mientras que la zona de mayor peligro alcanza una longitud de aproximadamente 390 m y su mayor ancho es poco menos de 200 m.

Los resultados obtenidos de la investigación de este escenario para balas de 100 m<sup>3</sup> se reportan en el anexo 6.

En la siguiente tabla se muestran las áreas de peligro generadas por la explosión de una nube de gas para las direcciones Este (la de mayor frecuencia y una de las

de mayor velocidad), Oeste Sur Oeste (la de menor velocidad) y para las condiciones de calma.

**Tabla 3.12:** Comportamiento de la sobrepresión generada por la explosión de una nube de vapor en las direcciones Este y Oeste Sur Oeste en el mes de enero.

Temperatura (°C)		26.1	Enero (Balas de 200 m <sup>3</sup> )	
Nubosidad (octas)		4		
Humedad (%)		78		
Dirección del viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-
		LOC-2 (6.33)	385	180
		LOC-1 (1.40)	542	630
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-
		LOC-2 (6.33)	878	280
		LOC-1 (1.44)	1000	1000
Calma	≤1	LOC-3 (-)	-	-
		LOC-2 (6.33)	1300	340
		LOC-1 (1.45)	1500	1200

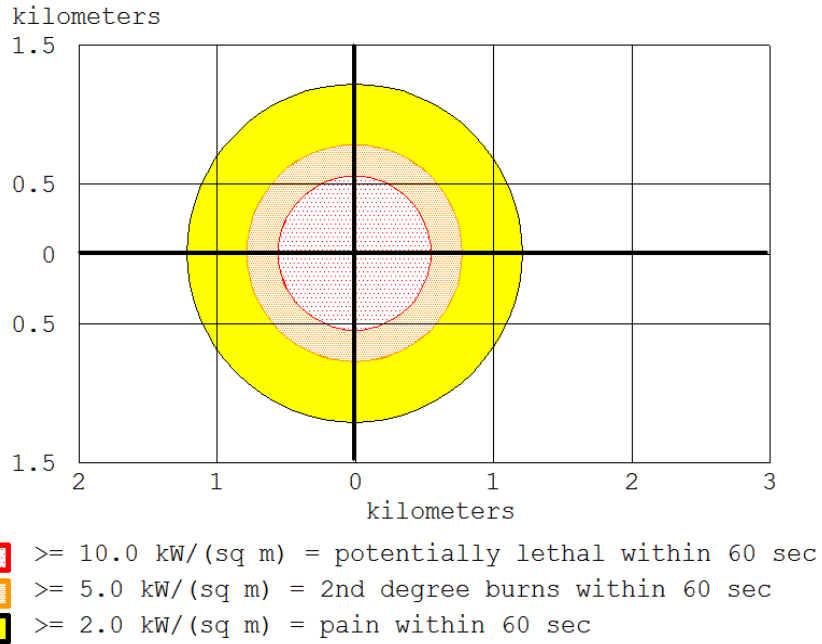
**Fuente:** Elaboración propia.

Para este escenario se puede notar que los niveles de sobrepresión alcanzados en las diferentes zonas no varían, pero si varían las dimensiones de las áreas siendo mayores para las condiciones de calma indicando el predominio de la variable velocidad del viento sobre la dimensión de las áreas.

### 3.3.4 Análisis de los resultados de las áreas de atmósferas peligrosas originadas por un BLEVE.

Atendiendo a la sexta consideración señalada en este capítulo se decide determinar mediante el software ALOHA las áreas que se originan para este tipo de escenario atendiendo solamente a la capacidad de almacenamiento.

Para las balas de almacenamiento de 200 m<sup>3</sup>, las áreas de peligro se muestran a continuación.



**Figura 3.10:** Comportamiento de la radiación originada por un BLEVE.

En el gráfico anterior se observa que para un diámetro de 1000 m aproximadamente, en la zona roja, se alcanza una radiación de  $10 \text{ kW} / \text{m}^2$  en 60 segundos, la cual resulta potencialmente letal.

En el área anular de la zona naranja de un ancho de 200 m, se alcanza una radiación de  $5 \text{ kW} / \text{m}^2$ , originando quemaduras de 2do grado en 60 segundos.

En el área más exterior, de un ancho de 300 m aproximadamente, se alcanza una radiación de  $2 \text{ kW} / \text{m}^2$ , que puede causar irritación de la piel y dolor.

Según el gráfico se compromete por radiación en un sentido u otro un área de 2400 m de diámetro.

**Tabla 3.13:** Resumen de las extensiones de las áreas de peligro para las diferentes capacidades y el nivel de radiación para el radio medio de cada área.

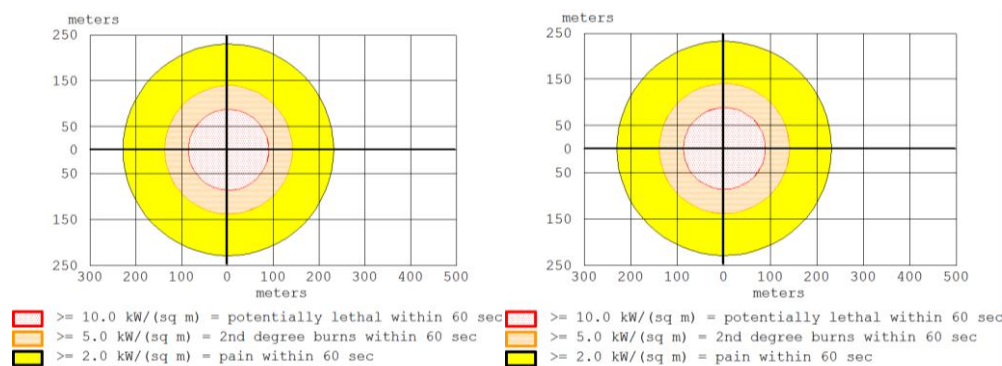
Tipo de bala	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Radio de la zona(m)
100 m <sup>3</sup>	LOC-3 (39.6)	443
	LOC-2 (7.14)	625
	LOC-1 (3.05)	973
200 m <sup>3</sup>	LOC-3 (57.3)	552
	LOC-2 (7.31)	779
	LOC-1 (3.06)	1200

**Fuente:** Elaboración propia.

Lo más significativo en esta comparación, es que en el caso de las balas de 200 m<sup>3</sup> las áreas son algo más extensas y que solo existen cambios apreciables en el nivel de radiación del área roja. Las distancias de las diferentes áreas llegan a comprometer en buena medida una parte de la zona urbana.

### 3.3.5 Análisis de los resultados de las áreas de atmósferas peligrosas originadas por un *Jet Fire*.

Este escenario se estudió para los dos tipos de balas, obteniéndose los gráficos que a continuación se muestran.



**Figura 3.11:** Comportamiento de la radiación originada por un *Jet Fire* en balas de 100 m<sup>3</sup> y 200 m<sup>3</sup> respectivamente.

Como puede observarse no existe variación considerable entre las áreas de riesgo que se originan para un tipo de bala u otro, por lo que se decidió realizar una comparación atendiendo a otros parámetros en este escenario.

**Tabla 3.14:** Resumen de las extensiones de las áreas de peligro para las diferentes capacidades y el nivel de radiación para el radio medio de cada área.

Tipo de bala	Radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Radio de la zona (m)	Tiempo de duración. (min)	Razón de quemado (kg/min)	Longitud de la llama (m)
100 m <sup>3</sup>	LOC-3 (30.4)	91	5	9640	88
	LOC-2 (7.14)	142			
	LOC-1 (3.05)	232			
200 m <sup>3</sup>	LOC-3 (30.5)	91	10	9740	89
	LOC-2 (7.31)	143			
	LOC-1 (3.06)	234			

**Fuente:** Elaboración propia.

Es evidente en estos resultados que varía muy poco la razón de quemado y la longitud de la llama, por lo que se demuestra que estos parámetros no dependen de la capacidad de almacenamiento, sin embargo el tiempo de duración se duplica proporcionalmente con la capacidad de la bala. Se infiere que tanto las áreas de peligro como la razón de quemado y la longitud de la llama deben depender del diámetro del orificio.

En la tabla anterior se observa que para un diámetro de 91 m, correspondiente a la zona roja, se alcanza una radiación mayor que 10 kW / m<sup>2</sup> en 60 segundos, la cual resulta potencialmente letal.

En el área anular de la zona naranja de un ancho de 50 m, se alcanza una radiación mayor que 5 kW/m<sup>2</sup>, originando quemaduras de 2do grado en 60 segundos.

En el área más exterior, de un ancho de 90 m aproximadamente, se alcanza una radiación mayor que 2 kW / m<sup>2</sup>, que puede causar irritación de la piel y dolor.

### 3.4 Análisis de la influencia de la sobrepresión y la radiación térmica provocada por la explosión de una nube de vapor, un BLEVE y un *Jet Fire* sobre las personas y la planta.

Los diferentes escenarios investigados provocan un impacto negativo, tanto sobre el personal de la planta y la población cercana a la misma, como sobre las infraestructuras involucradas. La magnitud de esta afectación se estudia en este trabajo a partir de las ecuaciones Probit y los resultados históricos obtenidos por Wells, (2003) en sus investigaciones. Todos los análisis que a continuación aparecen son para balas de 200 m<sup>3</sup>.

#### 3.4.1 Análisis de los efectos de la radiación térmica provocada por un *Jet Fire* sobre las personas.

A partir de los resultados obtenidos sobre la radiación en función de la distancia, a través del software ALOHA y considerando variaciones de 20 metros en la dirección Este se obtuvieron, aplicando las ecuaciones Probit, los resultados mostrados en la siguiente tabla.

**Tabla 3.15:** Porcentaje de muertes probables por efecto de la radiación térmica generada por un *Jet Fire*.

Distancia (m)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Probit Y	Porcentaje de Muertes
20	30900	7,29183652	99
40	21600	6,069648593	86
60	15000	4,825000099	43
80	11300	3,85818205	13
100	8780	2,996908217	2
120	6760	2,104480211	<1
140	5290	1,267515025	<1
160	3930	0,253144653	<1

**Fuente:** Elaboración propia.

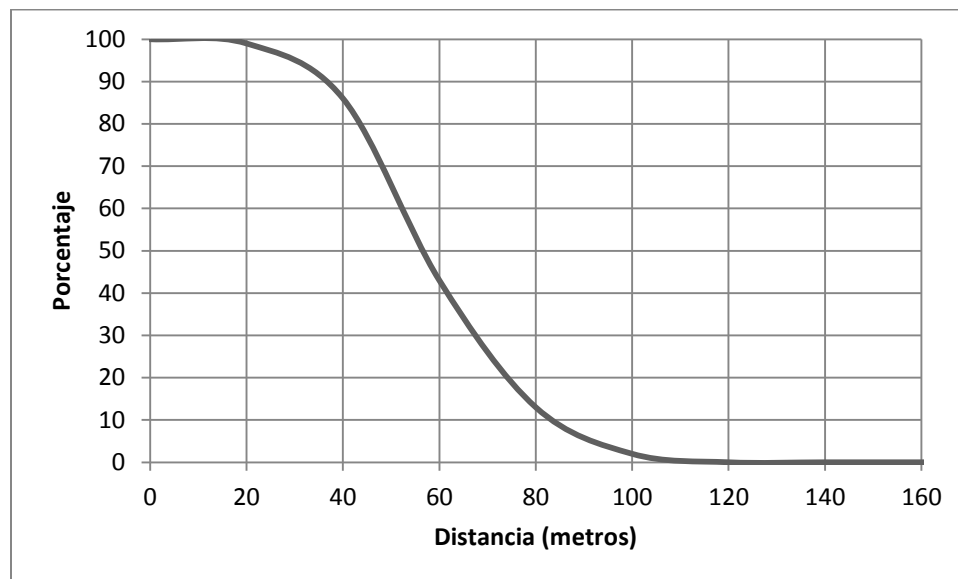
Los resultados son muy evidentes en relación con el porcentaje de muertes y las respectivas distancias. Las personas que se encuentren entre 20 y 40 metros,



prácticamente todas mueren, si tenemos en cuenta que la longitud total de la planta es aproximadamente 100 metros, puede quedar expuesto todo el personal de la planta en dependencia de la bala que este afectada.

Puede observarse que a partir de los 60 metros disminuye rápidamente el porcentaje de personas que perderían la vida. A distancias mayores de 100 metros el porcentaje de muertes es considerablemente menor.

A partir de los resultados de la tabla 3.15 se confeccionó la figura 3.12 que relaciona el porcentaje de muertes con la distancia de la fuente.



**Figura 3.12:** Comportamiento del porcentaje de muertes probables provocadas por la radiación térmica generada por un *Jet Fire* en función de la distancia.

**Fuente:** Elaboración propia.

El gráfico anterior permite determinar a cualquier distancia el porcentaje de muertes, así por ejemplo, si la bala afectada fuera la más cercana al área de oficinas ubicada aproximadamente a 30 metros, entonces alrededor del 94 % de las personas perderían la vida.

Teniendo en cuenta los datos de la figura 3.11, se nota de acuerdo al software ALOHA que a 100 metros de la fuente existe peligro para la vida, lo cual está en plena correspondencia con los resultados obtenidos en la figura anterior a través de las ecuaciones Probit.

### 3.4.2 Análisis de los efectos de la radiación térmica provocada por un BLEVE sobre las personas.

Un análisis similar al anterior puede hacerse para este escenario, a partir de los resultados que aparecen en la siguiente tabla.

**Tabla 3.16:** Porcentaje de muertes probables por efecto de la radiación térmica generada por un BLEVE.

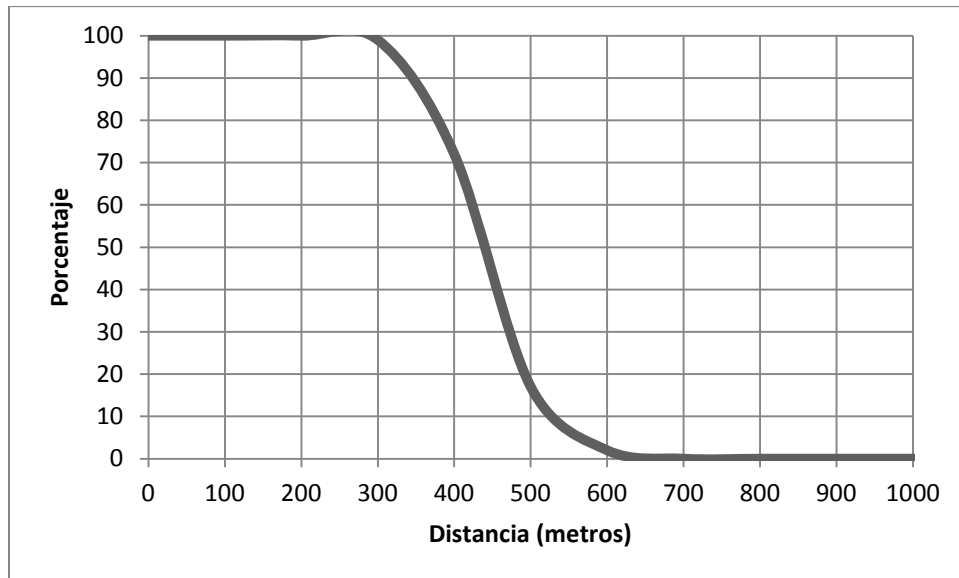
Distancia (m)	Radiación (W/m <sup>2</sup> )	Probit Y	% de Muertes
100	70400	10,10250175	100
200	54100	9,203569434	100
300	30400	7,236152849	99
400	18700	5,577549041	72
500	11900	4,034773152	17
600	8370	2,833674005	2
700	6130	1,770560159	<1
800	4840	0,964057659	<1

**Fuente:** Elaboración propia.

Como puede observarse este escenario tiene un impacto mucho más severo que el anterior, pues incluso a 300 metros de la fuente morirían prácticamente la totalidad de las personas. Resulta significativo que a diferencia del escenario anterior, cuya área de peligro letal no excede los límites de la planta, en este caso, sí afectaría notablemente el área urbana ubicada a escasos 200 metros de la misma, donde la densidad de población es alta, por lo que morirían mayor cantidad de personas.

La figura que a continuación se muestra fue obtenida a partir de los resultados de la tabla anterior. Los resultados obtenidos en el gráfico coinciden con los

reportados en la figura 3.10, respecto a las distancias en las cuales existe peligro para la vida.



**Figura 3.13:** Comportamiento del porcentaje de muertes probables provocadas por la radiación térmica generada por un BLEVE en función de la distancia.

**Fuente:** Elaboración propia.

La distancia al centro de la zona poblacional más cercana es de 400 metros aproximadamente y perderían la vida por causa de este escenario el 72 % de la población.

### **3.4.3 Análisis del efecto de la sobrepresión provocada por una explosión sobre las personas y la planta.**

En este caso se investigó el efecto de la explosión de una nube de vapor, obteniéndose los resultados siguientes.

**Tabla 3.17:** Porcentaje de muertes por efecto de la sobrepresión generada por la explosión de una nube de vapor.

<b>Distancia (m)</b>	<b>Sobrepresión (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Probit Y</b>	<b>%</b>
50	43643,9574	-3,2748	< 1

**Fuente:** Elaboración propia.

La sobrepresión generada al explotar la nube de vapor, según la ecuación Probit, afectaría a menos del uno por ciento de la población. Este resultado coincide con los reportados por Wells, (2003) que asegura que incluso en balas de almacenamiento de GLP, de una tonelada de capacidad, los daños a las vidas humanas por efecto de la sobrepresión no excede al uno por ciento.

El daño material sobre la planta y sus alrededores puede ser estimado a partir de los datos del anexo 3, que relaciona las sobrepresiones con los posibles daños y que son reportados por Wells, (2003). Los resultados de la tabla 3.18 fueron obtenidos modelando la explosión de la nube de vapor mediante el software ALOHA para vientos de dirección Este, por ser los de mayor frecuencia en la zona de estudio y los que afectarían a la zona poblacional, también fue modelado para las condiciones de calma.

De acuerdo con los resultados mostrados en la tabla 3.18 se alcanza una sobrepresión máxima de 6.33 psi, desde la fuente hasta 350 metros, es decir que a esta última distancia se debe esperar la destrucción completa de las estructuras, lo que incluye la ruptura de las balas de almacenamiento, las cuales no soportarían más de 4 psi según se reporta en el anexo 3. Particular interés tendría el efecto de este accidente en una de las balas, ya que alcanzaría a destruir viviendas y otras instalaciones situadas cerca de la planta. De 400 a 500 metros los daños provocados por el efecto de la sobrepresión podrían ser: colapso parcial de las paredes y los techos, demolición parcial de las casas y daños estructurales menores como rotura de ventanas, rotura de losas y crujidos de los techos y las paredes.

**Tabla 3.18:** Gradiente de sobrepresión generado por la explosión de una nube de vapor con vientos de dirección Este.

Distancia (m)	Sobrepresión (psi)
50	6,33
100	6,33
150	6,33
200	6,33
250	6,33
300	6,33
350	6,33
400	2,38
450	1,45
500	1,1

**Fuente:** Elaboración propia.

A continuación se muestran las sobrepresiones generadas por la explosión de una nube de vapor para velocidades del viento correspondientes a la calma.

**Tabla 3.19:** Gradiente de sobrepresión generado por la explosión de una nube de vapor con vientos en estado de calma.

Distancia (m)	Sobrepresión (psi)
100	6,33
1300	6,33
1400	1,43
1500	1

**Fuente:** Elaboración propia.

Los daños correspondientes a una sobrepresión de 6.33 psi, anteriormente comentados, bajo las condiciones de calma llegarían a una distancia de 1300 metros, afectándose gran parte del área urbana de Versailles, particularmente el reparto Dubroc que se vería dañado en su totalidad. Otros daños como los reportados en el anexo 3 llegarían a afectar zonas ubicadas a 1500 metros de la planta. Es necesario puntualizar que todo el análisis anterior se ha realizado teniendo en cuenta que el accidente ocurriera en una sola bala de 200 m<sup>3</sup>, cabe

suponer que las áreas de peligros provocadas por un accidente en el cual se vieran implicadas todas las balsas de almacenamiento de la planta generarían consecuencias negativas mayores.

### **3.5 Estimación del impacto económico sobre la planta.**

Aun cuando el software ALOHA no evalúa las consecuencias de la fragmentación de un equipo al destruirse y por tanto tampoco el efecto dominó, se puede inferir que la destrucción de la planta en su totalidad puede ocurrir de acuerdo con los criterios de Wells, (2003), anteriormente comentados. El valor de reposición de esta planta en caso de destruirse actualmente es de \$12 946 941.33, el cual fue estimado mediante el software CAPCOST.

### **3.6 Conclusiones parciales.**

1. De acuerdo con los resultados obtenidos del árbol de sucesos, el escenario que con mayor frecuencia puede aparecer es el *Jet Fire*, el cual se puede manifestar aproximadamente una vez cada 7 años.
2. Los escenarios de mayores áreas de atmósferas peligrosas son la nube tóxica y el BLEVE.
3. Mediante las ecuaciones Probit se determinó que el mayor número de muertes se puede producir bajo los efectos de un BLEVE.
4. La explosión de una nube de vapor de GLP, bajo condiciones de calma, provoca las mayores afectaciones a las edificaciones tanto de la planta como de las zonas urbanas cercanas a la misma.

## **Conclusiones**

1. La aplicación de las técnicas de análisis y evaluación de riesgo permitieron definir los escenarios de riesgos más probables en la planta de GLP, determinar las áreas de atmósferas peligrosas de dichos escenarios y la afectación sobre los recursos humanos y materiales.
2. Se determinaron que los escenarios de riesgos más probables en el almacenamiento de gas licuado son el *Jet Fire*, la explosión de una nube de vapor, la formación de una nube tóxica y el BLEVE.
3. Se evaluaron las áreas de atmósferas peligrosas asociadas a cada escenario de riesgo, siendo las de mayor extensión sobre la zona de estudio la nube tóxica y el BLEVE.
4. Se determinó que por efecto directo, el BLEVE, es el escenario que provoca la mayor cantidad de muertes y que la explosión de la nube de vapor es la que mayores daños materiales ocasiona.
5. Se estimó que en caso de ser necesario reponer totalmente la planta los gastos ascenderían a \$12 946 941.33.

## ***Recomendaciones.***

1. Aplicar otras técnicas de análisis en esta planta como es el caso del Índice de Incendio y Explosión (IFE) de DOW, que unido a los resultados obtenidos por la aplicación del Árbol de Sucesos, posibilitarán completar el análisis de riesgos e implementar las medidas correspondientes.
2. Ofrecer y discutir los resultados de este trabajo con la dirección de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.



## Bibliografía.

- B.J.M, Ale. (1991). *Risk analysis and risk policy in the Netherlands and the EEC*, J. Loss Prev. Process Ind. Vol 4, January, 58-64
- Bestratén M. (1989). Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso. Notas técnicas de prevención. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Barcelona. Barcelona
- Bestratén, M; (1996). Análisis de riesgos mediante el árbol de suceso. INSHT. Barcelona.
- BOE. (1991). Directriz básica para la elaboración y homologación de los Planes Especiales del Sector Químico. Resolución de 30 de enero de 1991, Boletín Oficial del Estado nº 32 de 6 febrero 1991, 4033-4060
- Bosch, C.J.H. van den, Weterings, R. (2006). *Methods for the calculation of physical effects due to releases of hazardous materials (liquids and gases). Yellow Book. The Hague.*
- Carol, Sergio. (2001). Tesis de Doctorado. Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales. Departamento de ingeniería química, Escuela técnica superior de ingenieros industriales de Barcelona. Universidad Politécnica de Cataluña. Barcelona. España.
- CCPS. (1992). *Hazard Evaluation Procedures. American Institute of Chemical Engineers.* New York, USA.
- *Chemical Industry Association. (1985). A Guide for Hazard and Operability Analysis.*
- Cox, S. J. y Tail, N.R.S. (1991) *Reliability, Safety & Risk Management. An integrated approach.* Butterworth-Heinemann Ltd. Inglaterra.
- Dirección General de Protección Civil. -a, (1994) Guía técnica. Metodologías para el análisis de riesgos. Visión general. ISBN 84-8150-042-9. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid
- Dirección General de Protección Civil. -b, (1994). Guía técnica. Métodos cualitativos para el análisis de riesgos. ISBN 84-8150-041-0. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid

- Dirección General de Protección Civil. -c, (1994). Guía técnica. Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos. ISBN 84-8150-043-7. Ministerio de Justicia e Interior. Madrid
- Duarte, G. (2009). SIAFASRL. [En línea] 2009. [Citado el: 30 de enero de 2011.] <http://natlaw.com/interam/ar/eg/rg/rgareg11.htm>.
- Hauptmanns, U. (1986) Análisis de árboles de fallos. Ed. Bellaterra. Barcelona.
- *Institut Químic de Sarrià. (2002). Base de càlcul per a escenaris d'accident.*
- J, Casal et al. 1999. "Análisis del riesgo en instalaciones industriales". Edicions UPC.
- Kakar, Sunil. (2011). *A Global Way Forward: Creating a Sustainable Growing Autogas Market. World LP Gas Association. USA.*
- Khan, Faisal I. (1997). *Accident simulation as a tool for assessing and controlling environmental risks in chemical process industries: a case study. Pondicherry University. Pondicherry*
- Kletz, T.A. (1986). *HAZOP and HAZAN. Notes on the Identification and Assessment of Hazards. IChemE. Rugby*
- Knowlton R.E. (1981). *An introduction to Hazard and Operability Studies. The Guide Word Approach. Chemetics International, Ltd.*
- Lees, F. P. (1986). *Loss prevention in the process industries. Butterworth and Co, Ltd. Londres.*
- López, Ihosvany. (2010). Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Químico. Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos. Matanzas, Cuba.
- Luis, Orosco. DrC. (2012). Especialista en análisis de riesgos. Guía para la determinación del riesgo vinculado a una sustancia.
- Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.
- *National Technical Information Service U. S. (1981). Nuclear Regulatory Commission. Ed Nureg. Washington.*
- Nguyen, Mai. (2011). Trabajo de Diploma en opción al Título de Ingeniero Químico. Determinación de áreas de peligro potencial que pueden

originarse, por incendios y/o explosiones, en la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas. Matanzas. Cuba.

- Nolan, Dennis P. (2011). *Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities. Second edition. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.*
- Perry, Robert. (1989). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. Sexta edición. Editorial McGraw Hill Book Company.
- Piccinini, N. (1985). "Afidabilitá e sicurez zanella industtia chimica". IEC. Barcelona.
- Piqué T., Cejalvo A. (1994). Análisis probabilístico de riesgos: metodología del árbol de fallos y errores, Notas Técnicas de Prevención, NTP-333, Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, Barcelona
- Ramos A. (1987). Procedimiento para el análisis de riesgos de operación. Método HAZOP. Publicación de la Comisión Autónoma de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Industrias Químicas y Afines. Madrid
- Ramos A. (1990). Procedimiento para la valoración cuantitativa de los riesgos. Método de los árboles de fallos. Publicación de la Comisión Autónoma de Seguridad e Higiene en el Trabajo de Industrias Químicas y Afines. Madrid
- Rodríguez-Giménez, S. et al (1995) "Aspectos básicos de seguridad en los almacenamientos de GLP". Ingeniería química. Octubre.
- Servicio de Protección Civil. (2002). Procedimiento de evaluación de riesgos tecnológicos en el entorno. Barcelona.
- Statgraphics Plus 5.1 (2001). Software Estadístico.
- *The Center for Chemical Process Safety. (2012). Process Safety Incident Database. The American Institute of Chemical Engineers. [on-line] Consultado 29 de enero del 2013. (<http://www.psidnet.com>).*
- *The Netherlands Organization of Applied Scientific Research (TNO). Committee for the Prevention of Disasters. (1997) "Methods for determining and processing probabilities". CPR 12E (Red Book).*

- TNO, (1989). *Probabilities for Use in Reliability and Risk Analysis Studies*. TNO. The Netherlands.
- Vilchez, Juan A. et al (2006) Análisis de riesgos ambientales y aplicación al diseño de instalaciones industriales. Trámites, Informes y Proyectos, S.L.Barcelona.
- Wells, Geoff. (2003). *Majors Hazards and their management*. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.

## Anexos.

### Anexo 1. Caracterización del GLP.

**Nombre del producto:** Gas Licuado del Petróleo (GLP).

**Formula Química:**  $C_n H_{2n + 2}$

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

R2/ R3/ R7/ R10/ R22/ R25/ R44/ R52/ R54/ R55/ R56.

### Datos físicos

- ✓ Apariencia: Incoloro, Inodoro
- ✓ Punto de ebullición: del líquido a presión atmosférica en °C (-42 a 0) propano, butano
- ✓ Punto de fusión:( -187 a -138)
- ✓ Solubilidad: no
- ✓ Densidad: del líquido = (0,500 560) y la densidad relativa al aire =(1,52 a 2 ) propano, butano
- ✓ T L V -límite superior de inflamabilidad: (9,50 a 8,41)
- ✓ IPVS - Límite inferior de explosividad: (2,37 a 1,86)
- ✓ Punto de congelación: de líquido a presión atmosférica =( -187 a -138) °C
- ✓ Temperatura de Autoinflamación:=(466 a 405) °C
- ✓ Coeficiente de expansión: se tiene información
- ✓ Temperatura de inflamación: propano (466 °C), Butano (405 °C )
- ✓ Biodegradabilidad: NO
- ✓ Corrosión: NO, el etilmercaptano, que se adiciona actúa como inhibidor de corrosión.

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

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre: existe una brigada de TSRUA, para actuar ante cualquier evento de este tipo.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación): extintores PQS, extintores de espuma, agua.

### Peligros para la salud

Concentración permisible: ninguna

Exposición permisible: ninguna

Partes del cuerpo que afecta: ojos, sistema respiratorio y pulmones.

Forma de entrada al organismo: vía respiratoria.

### Toxicidad

Sustancia	Toxicidad							
	Tox. aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. para la reproducción
Gas licuado	X	R,O,						

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

### **Datos de reactividad.**

- ✓ Reacción principal y reacciones secundarias: No se tiene información.
- ✓ Cinética de reacción: no se tiene información.
- ✓ Contaminantes producidos: no se tiene información.
- ✓ Reacciones de descomposición: no se tiene información.

### **Condiciones de almacenamiento y manipulación.**

Capacidad del recipiente de almacenamiento: 8 de 100 m<sup>3</sup> y 13 de 200 m<sup>3</sup>.

Forma del recipiente: cilíndrico horizontal con cabezas semiesférica.

Dimensiones del recipiente: 112 m<sup>3</sup> (longitud 20 m, diámetro 2,614 m y espesor 21 mm), 200 m<sup>3</sup> (longitud 21 m, diámetro 3.40 m y espesor 26 mm)

Material de construcción: acero al carbono.

Localización de la soldadura: Por rolos de chispa.

Longitud de la soldadura: 3.5 cm.

Protección del recipiente (interior o exterior): pintura impermeabilizante.

Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: Accesorios en la cabeza principal de cada bala (Válvulas para líquidos, del tipo Macho lubricado, para vapor del mismo tipo, chequeo, válvula de exceso de flujo, drenaje con válvula de globo).

Instrumentos en la cabeza principal de cada bala: (Manómetro, termómetro, Rotogranje: indicador del nivel del líquido)

Fecha de fabricación del recipiente: Balas URSS (1970), Balas USA (1950).

Condiciones de almacenamiento de la sustancia: De forma líquida y presurizada.

Tipo de averías producidas: no se han producido.

Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura):  $P= 5$  a  $14 \text{ kg/cm}^2$ ,  
Temperatura =  $10$  a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$

Características de los alrededores del recipiente: tanques expuestos a condiciones ambientales

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

Uso en el proceso: Llenado de cilindros, llenado de pailas, llenado de barcos.

Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura):  $P=5$  a  $14 \text{ kg/m}^2$ ,  $T=10$  a  $40 \text{ }^\circ\text{C}$

Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: Roturas de mangueras.

Material de construcción de los equipos donde es usada: acero al carbono.

Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada: A bombas ( $30$  a  $100 \text{ m}$ ), A compresores ( $50$  a  $120 \text{ m}$ ).

Diámetro de la tubería: URSS –  $6$  pulgadas., USA –  $4$  pulgadas.

Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería: cinco válvulas y cuatro Instrumentos.

Material de construcción de los accesorios y las tuberías: acero y hierro.

Protección del sistema de tuberías: pintura impermeabilizante.



## Anexo 2: Clasificación de la sustancia (R, S)

### Indicación de riesgos específicos

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

## Anexo 2 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 2 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 2 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 3. Efecto 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 como rotura de ventanas y crujidos de los techos.
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 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 4** Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio en la década 2000-2009.

**Tabla 4a.** Comportamiento de los valores medio de la **nubosidad** para el período 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>	17.9967	17.9967	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 4.**Continuación.

**Tabla 4b** Comportamiento de los valores medio de la **temperatura máxima** para el período 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 4.**Continuación.

**Tabla 4c** Comportamiento de los valores medio de la temperatura media para el período 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 4.**Continuación.

**Tabla 4d** Comportamiento de los valores medio de la **temperatura mínima** para el período 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 4.** Continuación.

**Tabla 4e** Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa para el período 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 4.** Continuación.

**Tabla 4f** 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 (Km/h)</b>
<b>N</b>	6.7	12.5
<b>NNE</b>	5.8	14.7
<b>NE</b>	9.4	15
<b>ENE</b>	9.1	16.9
<b>E</b>	15.7	15.4
<b>ESE</b>	4	14.3
<b>SE</b>	1.5	12.7
<b>SSE</b>	1.5	10.9
<b>S</b>	3.5	10.6
<b>SSW</b>	3	10
<b>SW</b>	1.8	8.7
<b>WSW</b>	2.1	8.4
<b>WSW</b>	0.7	9.9
<b>WNW</b>	0.7	12
<b>NW</b>	0.4	12.5
<b>NNW</b>	1.1	13.4

**Anexo 5.** Accidentes ocurridos entre 1917 y 1996 según Khan, et al, (1997).

<b>Número.</b>	<b>Año.</b>	<b>Lugar.</b>	<b>Tipo de accidente.</b>	<b>Muertos.</b>	<b>Heridos.</b>
<b>1</b>	1962	RasTanura, Arabia Saudita.	Incendio.	1	114
<b>2</b>	1966	Feyzin, Francia.	Incendio y explosión.	18	81
<b>3</b>	1966	Larose.	Incendio.	7	0
<b>4</b>	1966	Alemania.	Explosión.	3	83
<b>5</b>	1970	Port Hudson.	Explosión.	25	0
<b>6</b>	1970	Mont Bolivia.	Explosión.	3	0
<b>7</b>	1972	Lynchbriog.	Incendio y explosión.	1	2
<b>8</b>	1972	New Jersey, Turnpike.	Explosión.	2	0
<b>9</b>	1972	Brazil.	Explosión.	37	53
<b>10</b>	1972	Billings.	Explosión.	4	0
<b>11</b>	1973	St. Amandles-Eaux, Francia.	Explosión.	5	40
<b>12</b>	1973	Staten Island.	Incendio.	40	34
<b>13</b>	1974	Decatur.	Explosión.	7	152
<b>14</b>	1974	Mississippi, USA.	Explosión.	16	34
<b>15</b>	1978	Waverly, Tenn.	Explosión.	12	50
<b>16</b>	1984	Ciudad de México, México.	BLEVE e incendio.	500	0
<b>17</b>	1988	Louisiana, USA.	Explosión.	16	34
<b>18</b>	1995	Gujrat, India.	Incendio	0	0

## Anexo 6. Resultados del software ALOHA.

**Anexo 6a.** Resumen del comportamiento de las áreas de riesgos de la nube tóxica en los diferentes meses del año para balas de 100 m<sup>3</sup>.

Temperatura(°C)		26.1	Enero		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (110000)	434	580	TEEL-2 (7-9 minutos)
		TEEL-2 (7570)	894	840	No
		TEEL-1 (3070)	1100	920	No
NNE	4,08	TEEL-3 (84000)	382	460	TEEL-1 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (8080)	802	660	No
		TEEL-1 (3020)	1000	720	No
NE	4,17	TEEL-3 (79200)	376	440	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7580)	787	620	No
		TEEL-1 (3030)	1000	700	No
ENE	4,69	TEEL-3 (74600)	342	340	TEEL-1 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7550)	742	500	No
		TEEL-1 (3040)	968	580	No
E	4,28	TEEL-3 (79200)	368	440	TEEL-1 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7640)	774	620	No
		TEEL-1 (3000)	999	680	No
S	2,94	TEEL-3 (217000)	665	920	TEEL-2 (4-5 minutos)
		TEEL-2 (8040)	1300	1320	No
		TEEL-1 (3070)	1600	1460	No
SSW	2,78	TEEL-3 (168000)	693	1020	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (8000)	1300	1440	No
		TEEL-1 (3140)	1600	1580	No
SW	2,42	TEEL-3 (216000)	762	1140	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (8240)	1400	1680	No
		TEEL-1 (3120)	1700	1900	No
WSW	2,33	TEEL-3 (221000)	781	1240	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (8300)	1500	1800	No
		TEEL-1 (3340)	1700	2000	No
W	2,75	TEEL-3 (155000)	693	1000	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7900)	1300	1480	No
		TEEL-1 (3120)	1600	1600	No

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		25.9	<b>Febrero.</b>		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		75			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (103000)	432	560	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7820)	891	820	No
		TEEL-1 (3020)	1100	900	No
NNE	4,08	TEEL-3 (103000)	382	460	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7150)	798	640	No
		TEEL-1 (3000)	1000	740	No
NE	4,17	TEEL-3 (78900)	375	440	TEEL-1 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7880)	785	620	No
		TEEL-1 (3040)	1000	720	No
ENE	4,69	TEEL-3 (57400)	341	340	TEEL-1 (5-6 minutos)
		TEEL-2 (7500)	740	500	No
		TEEL-1 (3000)	964	600	No
E	4,28	TEEL-3 (82200)	366	440	TEEL-1 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7820)	772	620	No
		TEEL-1 (3040)	997	680	No
S	2,94	TEEL-3 (176000)	665	900	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (8000)	1300	1320	No
		TEEL-1 (3120)	1600	1460	No
SSW	2,78	TEEL-3 (184000)	691	1000	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (8200)	1300	1400	No
		TEEL-1 (3130)	1600	1550	No
SW	2,42	TEEL-3 (193000)	760	1220	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (8510)	1400	1640	No
		TEEL-1 (3190)	1700	1860	No
WSW	2,33	TEEL-3 (197000)	779	1280	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (8610)	1400	1850	No
		TEEL-1 (3140)	1700	2000	No
W	2,75	TEEL-3 (186000)	697	1000	TEEL-2 (5-6 minutos)
		TEEL-2 (8080)	1300	1420	No
		TEEL-1 (3100)	1600	1600	No

**Anexo 6a.**Continuación.

Temperatura(°C)		28.2		<b>Marzo</b>		
Nubosidad		4				
Humedad (%)		74				
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores	
N	3,47	TEEL-3 (113000)	446	600	TEEL-2 (8-10 minutos)	
		TEEL-2 (7900)	920	840	No	
		TEEL-1 (3190)	1200	940	No	
NNE	4,08	TEEL-3 (82300)	393	470	TEEL-1 (6-8 minutos)	
		TEEL-2 (7770)	831	660	No	
		TEEL-1 (3000)	1100	740	No	
NE	4,17	TEEL-3 (85300)	383	460	TEEL-1 (6-8 minutos)	
		TEEL-2 (7600)	813	640	No	
		TEEL-1 (3010)	1000	720	No	
ENE	4,69	TEEL-3 (58300)	353	360	TEEL-1 (3-5 minutos)	
		TEEL-2 (7500)	766	520	No	
		TEEL-1 (3000)	999	600	No	
E	4,28	TEEL-3 (86000)	380	460	TEEL-1 (6-8 minutos)	
		TEEL-2 (7600)	801	620	No	
		TEEL-1 (3200)	1000	680	No	
S	2,94	TEEL-3 (195000)	684	900	TEEL-2 (4-5 minutos)	
		TEEL-2 (8000)	1300	1360	No	
		TEEL-1 (3000)	1600	1500	No	
SSW	2,78	TEEL-3 (183000)	712	1000	TEEL-2 (4-5 minutos)	
		TEEL-2 (8000)	1400	1440	No	
		TEEL-1 (3200)	1700	1600	No	
SW	2,42	TEEL-3 (213000)	779	1220	TEEL-2 (3-5 minutos)	
		TEEL-2 (8100)	1500	1800	No	
		TEEL-1 (3250)	1800	2000	No	
WSW	2,33	TEEL-3 (220000)	796	1280	TEEL-2 (4-6 minutos)	
		TEEL-2 (8500)	1500	1900	No	
		TEEL-1 (3300)	1800	2060	No	
W	2,75	TEEL-3 (190000)	716	1000	TEEL-2 (3-5 minutos)	
		TEEL-2 (8200)	1400	1760	No	
		TEEL-1 (3200)	1700	1640	No	

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		29.7	Abril		
Nubosidad		3			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (92300)	455	580	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7850)	937	840	No
		TEEL-1 (3000)	1200	940	No
NNE	4,08	TEEL-3 (78200)	402	460	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7500)	851	680	No
		TEEL-1 (2900)	1100	740	No
NE	4,17	TEEL-3 (86300)	395	450	TEEL-1 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (8000)	834	660	No
		TEEL-1 (3000)	1100	740	No
ENE	4,69	TEEL-3 (57900)	360	360	No
		TEEL-2 (7800)	782	540	No
		TEEL-1 (2900)	1000	600	No
E	4,28	TEEL-3 (82100)	389	460	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7500)	817	640	No
		TEEL-1 (3100)	1100	700	No
S	2,94	TEEL-3 (193000)	695	960	TEEL-2 (3-4minutos)
		TEEL-2 (8060)	1300	1340	No
		TEEL-1 (3120)	1600	1480	No
SSW	2,78	TEEL-3 (196000)	722	1020	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (8900)	1400	1460	No
		TEEL-1 (3200)	1700	1600	No
SW	2,42	TEEL-3 (209000)	787	1220	TEEL-2 (4-5 minutos)
		TEEL-2 (8870)	1500	1800	No
		TEEL-1 (3000)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (211000)	804	1340	TEEL-2 (4-5 minutos)
		TEEL-2 (8610)	1500	1860	No
		TEEL-1 (3190)	1800	2100	No
W	2,75	TEEL-3 (198000)	727	1040	TEEL-2 (4-5 minutos)
		TEEL-2 (7900)	1400	1520	No
		TEEL-1 (3100)	1700	1640	No



**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		30,9	Mayo		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (111000)	462	600	TEEL-2 (5-6 minutos)
		TEEL-2 (7800)	950	880	No
		TEEL-1 (3000)	1200	960	No
NNE	4,08	TEEL-3 (86000)	409	480	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7000)	863	680	No
		TEEL-1 (3100)	1100	760	No
NE	4,17	TEEL-3 (82600)	402	460	TEEL-1 (5-6 minutos)
		TEEL-2 (7100)	849	660	No
		TEEL-1 (3050)	1100	740	No
ENE	4,69	TEEL-3 (59600)	366	360	No
		TEEL-2 (7200)	795	560	No
		TEEL-1 (3150)	1000	640	No
E	4,28	TEEL-3 (86400)	395	460	TEEL-1 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7300)	833	660	No
		TEEL-1 (3040)	1100	740	No
S	2,94	TEEL-3 (191000)	703	1000	TEEL-2 (4-6minutos)
		TEEL-2 (7100)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3150)	1600	1520	No
SSW	2,78	TEEL-3 (196000)	729	1100	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7050)	1400	1480	No
		TEEL-1 (3100)	1700	1660	No
SW	2,42	TEEL-3 (206000)	792	1240	TEEL-2 (4-5 minutos)
		TEEL-2 (7200)	1500	1800	No
		TEEL-1 (3200)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (209000)	807	1300	TEEL-2 (4-5 minutos)
		TEEL-2 (7100)	1500	1900	No
		TEEL-1 (3000)	1800	2200	No
W	2,75	TEEL-3 (185000)	735	1100	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1400	1540	No
		TEEL-1 (3050)	1700	1660	No

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		30.5	Junio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		83			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (75000)	384	540	TEEL-1 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7150)	802	760	No
		TEEL-1 (3300)	1000	860	No
NNE	4,08	TEEL-3 (54300)	335	400	No
		TEEL-2 (7050)	727	600	No
		TEEL-1 (3000)	940	670	No
NE	4,17	TEEL-3 (52700)	330	380	No
		TEEL-2 (7000)	718	560	No
		TEEL-1 (3100)	928	640	No
ENE	4,69	TEEL-3 (44200)	304	320	No
		TEEL-2 (7000)	671	480	No
		TEEL-1 (3200)	877	520	No
E	4,28	TEEL-3 (50700)	324	380	No
		TEEL-2 (7100)	708	530	No
		TEEL-1 (3050)	916	620	No
S	2,94	TEEL-3 (180000)	700	1000	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3000)	1600	1540	No
SSW	2,78	TEEL-3 (196000)	727	1040	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7500)	1400	1500	No
		TEEL-1 (3200)	1700	1640	No
SW	2,42	TEEL-3 (207000)	790	1280	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7300)	1500	1800	No
		TEEL-1 (3150)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (211000)	806	1320	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7250)	1500	1900	No
		TEEL-1 (3100)	1800	2100	No
W	2,75	TEEL-3 (196000)	732	1100	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7200)	1400	1480	No
		TEEL-1 (3000)	1700	1680	No

**Anexo 6a. Continuación.**

Temperatura(°C)		31.4	Julio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (81100)	388	540	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7020)	811	760	No
		TEEL-1 (3050)	1000	860	No
NNE	4,08	TEEL-3 (55400)	340	400	No
		TEEL-2 (7200)	737	604	No
		TEEL-1 (3000)	952	660	No
NE	4,17	TEEL-3 (53600)	334	390	No
		TEEL-2 (7050)	727	580	No
		TEEL-1 (3300)	939	650	No
ENE	4,69	TEEL-3 (45000)	308	320	No
		TEEL-2 (7050)	679	480	No
		TEEL-1 (3000)	886	540	No
E	4,28	TEEL-3 (51500)	328	380	No
		TEEL-2 (7260)	716	540	No
		TEEL-1 (3150)	927	620	No
S	2,94	TEEL-3 (191000)	707	1000	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7330)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3250)	1700	1500	No
SSW	2,78	TEEL-3 (195000)	732	1100	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7170)	1400	1500	No
		TEEL-1 (3220)	1700	1660	No
SW	2,42	TEEL-3 (206000)	794	1300	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7120)	1500	1800	No
		TEEL-1 (3130)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (209000)	809	1400	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7320)	1500	1900	No
		TEEL-1 (3150)	1800	2100	No
W	2,75	TEEL-3 (196000)	736	1100	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7380)	1400	1600	No
		TEEL-1 (3060)	1700	1700	No

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		31.3	<b>Agosto</b>		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		82			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (112000)	464	600	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7520)	953	880	No
		TEEL-1 (3230)	1200	960	No
NNE	4,08	TEEL-3 (55300)	339	400	No
		TEEL-2 (7120)	735	600	No
		TEEL-1 (3040)	950	660	No
NE	4,17	TEEL-3 (53200)	333	380	No
		TEEL-2 (7320)	726	570	No
		TEEL-1 (3140)	937	640	No
ENE	4,69	TEEL-3 (45000)	308	330	No
		TEEL-2 (7060)	678	490	No
		TEEL-1 (3010)	885	550	No
E	4,28	TEEL-3 (51400)	327	380	No
		TEEL-2 (7320)	715	540	No
		TEEL-1 (3280)	926	640	No
S	2,94	TEEL-3 (191000)	706	1000	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7280)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3210)	1600	1500	No
SSW	2,78	TEEL-3 (195000)	732	900	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7160)	1400	1500	No
		TEEL-1 (3220)	1700	1640	No
SW	2,42	TEEL-3 (206000)	793	1300	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7260)	1500	1900	No
		TEEL-1 (3120)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (209000)	809	1400	TEEL-2 (7-9 minutos)
		TEEL-2 (7230)	1500	1950	No
		TEEL-1 (3160)	1800	2200	No
W	2,75	TEEL-3 (196000)	736	1100	
		TEEL-2 (7320)	1400	1500	No
		TEEL-1 (3250)	1700	1700	No

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		30.8	Septiembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (75400)	385	520	TEEL-1 ( 8-10 minutos)
		TEEL-2 (7150)	804	740	No
		TEEL-1 (3130)	1000	860	No
NNE	4,08	TEEL-3 (54900)	337	410	No
		TEEL-2 (7140)	731	600	No
		TEEL-1 (3110)	943	680	No
NE	4,17	TEEL-3 (53000)	331	380	No
		TEEL-2 (7160)	722	570	No
		TEEL-1 (3210)	931	640	No
ENE	4,69	TEEL-3 (44500)	306	330	No
		TEEL-2 (7300)	674	480	No
		TEEL-1 (3220)	881	540	No
E	4,28	TEEL-3 (51000)	325	380	No
		TEEL-2 (7150)	712	540	No
		TEEL-1 (3230)	920	620	No
S	2,94	TEEL-3 (192000)	703	1000	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7110)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3090)	1600	1500	No
SSW	2,78	TEEL-3 (196000)	729	1090	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7260)	1400	1540	No
		TEEL-1 (3250)	1700	1640	No
SW	2,42	TEEL-3 (206000)	791	1320	TEEL-2 (5-7minutos)
		TEEL-2 (7140)	1500	1800	No
		TEEL-1 (3220)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (210000)	807	1400	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7020)	1500	1900	No
		TEEL-1 (3080)	1800	2100	No
W	2,75	TEEL-3 (197000)	734	1100	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7090)	1400	1500	No
		TEEL-1 (3100)	1700	1680	No

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		29,3	Octubre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (109000)	453	600	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7030)	932	860	No
		TEEL-1 (3210)	1200	960	No
NNE	4,08	TEEL-3 (84300)	401	490	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7120)	842	680	No
		TEEL-1 (3270)	1100	740	No
NE	4,17	TEEL-3 (86000)	393	490	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7040)	828	660	No
		TEEL-1 (3070)	1100	740	No
ENE	4,69	TEEL-3 (62000)	358	360	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7140)	779	540	No
		TEEL-1 (3190)	1000	600	No
E	4,28	TEEL-3 (78300)	386	440	TEEL-1 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7300)	813	640	No
		TEEL-1 (3250)	1000	720	No
S	2,94	TEEL-3 (192000)	692	1000	TEEL-2 (6-8minutos)
		TEEL-2 (7250)	1300	1360	No
		TEEL-1 (3110)	1600	1520	No
SSW	2,78	TEEL-3 (197000)	719	1100	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7140)	1400	1500	No
		TEEL-1 (3210)	1700	1600	No
SW	2,42	TEEL-3 (210000)	785	1280	TEEL-2 (6-8minutos)
		TEEL-2 (7320)	1500	1840	No
		TEEL-1 (3090)	1800	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (213000)	802	1400	TEEL-2 (6-8minutos)
		TEEL-2 (7160)	1500	1860	No
		TEEL-1 (3030)	1800	2100	No
W	2,75	TEEL-3 (198000)	724	1040	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1400	1520	No
		TEEL-1 (3210)	1700	1660	No

**Anexo 6a.**Continuación.

Temperatura(°C)		27.3	Noviembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (98900)	440	580	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7120)	902	860	No
		TEEL-1 (3120)	1200	960	No
NNE	4,08	TEEL-3 (81300)	391	500	TEEL-1 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7110)	815	640	No
		TEEL-1 (3220)	1000	740	No
NE	4,17	TEEL-3 (78200)	383	460	TEEL-1 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7320)	802	660	No
		TEEL-1 (3230)	1000	720	No
ENE	4,69	TEEL-3 (55200)	348	360	No
		TEEL-2 (7230)	756	540	No
		TEEL-1 (3310)	958	600	No
E	4,28	TEEL-3 (71400)	375	460	TEEL-1 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7430)	789	640	No
		TEEL-1 (3300)	1000	700	No
S	2,94	TEEL-3 (134000)	504	780	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7120)	1000	1060	No
		TEEL-1 (3230)	1200	1200	No
SSW	2,78	TEEL-3 (134000)	526	820	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7110)	1000	1200	No
		TEEL-1 (3020)	1300	1320	No
SW	2,42	TEEL-3 (166000)	583	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7210)	1100	1440	No
		TEEL-1 (3040)	1400	1600	No
WSW	2,33	TEEL-3 (171000)	598	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7190)	1100	1520	No
		TEEL-1 (3300)	1400	1640	No
W	2,75	TEEL-3 (202000)	529	1080	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7040)	1000	1440	No
		TEEL-1 (3090)	1300	1600	No

**Anexo 6a.Continuación.**

Temperatura(°C)		26.5	Diciembre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		79			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (104000)	436	580	No
		TEEL-2 (7220)	898	840	No
		TEEL-1 (3130)	1100	920	No
NNE	4,08	TEEL-3 (85800)	385	500	TEEL-1 (6-8minutos)
		TEEL-2 (7120)	803	660	No
		TEEL-1 (3030)	1000	740	No
NE	4,17	TEEL-3 (73800)	378	460	No
		TEEL-2 (7010)	793	660	No
		TEEL-1 (3020)	1000	720	No
ENE	4,69	TEEL-3 (54000)	344	400	No
		TEEL-2 (7200)	746	540	No
		TEEL-1 (3000)	974	600	No
E	4,28	TEEL-3 (75800)	370	440	TEEL-1 (6-8minutos)
		TEEL-2 (7090)	780	620	No
		TEEL-1 (3180)	1000	700	No
S	2,94	TEEL-3 (195000)	669	900	TEEL-2 (8-10minutos)
		TEEL-2 (7210)	1300	1350	No
		TEEL-1 (3310)	1600	1500	No
SSW	2,78	TEEL-3 (202000)	697	1000	TEEL-2 (8-10minutos)
		TEEL-2 (7330)	1300	1440	No
		TEEL-1 (3210)	1600	1600	No
SW	2,42	TEEL-3 (216000)	766	1300	TEEL-2 (8-10minutos)
		TEEL-2 (7110)	1400	1800	No
		TEEL-1 (3070)	1700	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (221000)	783	1400	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7100)	1500	1900	No
		TEEL-1 (3210)	1800	2000	No
W	2,75	TEEL-3 (204000)	702	1080	TEEL-2 (8-10minutos)
		TEEL-2 (7180)	1400	1440	No
		TEEL-1 (3070)	1600	1640	No



**Anexo 6b.** Resumen del comportamiento de las áreas de riesgos de la nube tóxica en los diferentes meses del año para balas de 200 m<sup>3</sup>.

Temperatura(°C)		26.1	Enero		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (105000)	439	600	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7400)	917	840	No
		TEEL-1 (3140)	1200	1020	No
NNE	4,08	TEEL-3 (86500)	384	500	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7330)	823	680	No
		TEEL-1 (3110)	1100	760	No
NE	4,17	TEEL-3 (77900)	378	460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7260)	804	640	No
		TEEL-1 (3320)	1000	720	No
ENE	4,69	TEEL-3 (56400)	345	360	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7140)	754	540	No
		TEEL-1 (3080)	985	600	No
E	4,28	TEEL-3 (73900)	371	460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7290)	791	640	No
		TEEL-1 (3170)	1000	700	No
S	2,94	TEEL-3 (196000)	681	960	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7820)	1400	1360	No
		TEEL-1 (3020)	1800	1540	No
SSW	2,78	TEEL-3 (203000)	710	1040	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7340)	1500	1460	No
		TEEL-1 (3210)	1800	1640	No
SW	2,42	TEEL-3 (219000)	788	1240	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7350)	1600	1840	No
		TEEL-1 (3140)	2000	2000	No
WSW	2,33	TEEL-3 (223000)	811	1340	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7460)	1600	2000	No
		TEEL-1 (3400)	2000	2200	No
W	2,75	TEEL-3 (205000)	715	1000	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7300)	1500	1480	No
		TEEL-1 (3250)	1800	1640	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		25.9	<b>Febrero</b>		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		75			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (98500)	437	580	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7160)	914	820	No
		TEEL-1 (3270)	1200	1020	No
NNE	4,08	TEEL-3 (80700)	383	500	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7230)	820	680	No
		TEEL-1 (3190)	1100	760	No
NE	4,17	TEEL-3 (77200)	378	460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7140)	802	640	No
		TEEL-1 (3280)	1000	720	No
ENE	4,69	TEEL-3 (58300)	344	360	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7160)	752	520	No
		TEEL-1 (3020)	982	580	No
E	4,28	TEEL-3 (76400)	369	460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7410)	788	640	No
		TEEL-1 (3190)	1000	680	No
S	2,94	TEEL-3 (196000)	674	960	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7220)	1400	1340	No
		TEEL-1 (3080)	1800	1540	No
SSW	2,78	TEEL-3 (204000)	708	1000	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7240)	1400	1460	No
		TEEL-1 (3170)	1800	1660	No
SW	2,42	TEEL-3 (219000)	786	1320	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7030)	1600	1860	No
		TEEL-1 (3330)	2000	2100	No
WSW	2,33	TEEL-3 (223000)	809	1400	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7340)	1600	1960	No
		TEEL-1 (3240)	2000	2200	No
W	2,75	TEEL-3 (206000)	712	1040	TEEL-2 (3-5 minutos)
		TEEL-2 (7410)	1500	1520	No
		TEEL-1 (3290)	1800	1660	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		28.2	Marzo		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		74			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (102000)	453	600	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7240)	944	860	No
		TEEL-1 (3120)	1200	980	No
NNE	4,08	TEEL-3 (85500)	396	490	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7130)	850	680	No
		TEEL-1 (3320)	1100	760	No
NE	4,17	TEEL-3 (80600)	390	500	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7350)	831	660	No
		TEEL-1 (3410)	1100	720	No
ENE	4,69	TEEL-3 (57200)	356	380	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7250)	779	560	No
		TEEL-1 (3460)	1000	600	No
E	4,28	TEEL-3 (78000)	383	440	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7460)	816	640	No
		TEEL-1 (3210)	1000	700	No
S	2,94	TEEL-3 (195000)	699	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7460)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3310)	1800	1580	No
SSW	2,78	TEEL-3 (202000)	728	1080	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7190)	1500	1560	No
		TEEL-1 (3220)	1800	1740	No
SW	2,42	TEEL-3 (215000)	809	1320	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1600	1860	No
		TEEL-1 (3290)	2000	2100	No
WSW	2,33	TEEL-3 (220000)	832	1400	TEEL-2 (2-4 minutos)
		TEEL-2 (7440)	1700	2000	No
		TEEL-1 (3170)	2100	2220	No
W	2,75	TEEL-3 (204000)	734	1100	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7320)	1500	1560	No
		TEEL-1 (3110)	1900	1740	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		29.7	Abril		
Nubosidad		3			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (105000)	462	600	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7130)	865	880	No
		TEEL-1 (3610)	1200	980	No
NNE	4,08	TEEL-3 (84500)	405	480	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7160)	868	700	No
		TEEL-1 (3150)	1100	760	No
NE	4,17	TEEL-3 (88100)	399	500	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7320)	852	680	No
		TEEL-1 (3340)	1100	760	No
ENE	4,69	TEEL-3 (60900)	363	360	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7240)	796	540	No
		TEEL-1 (3360)	1000	640	No
E	4,28	TEEL-3 (8500)	390	460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7250)	834	680	No
		TEEL-1 (3320)	1100	720	No
S	2,94	TEEL-3 (195000)	712	1000	TEEL-2 (7-9 minutos)
		TEEL-2 (7140)	1500	1420	No
		TEEL-1 (3300)	1800	1600	No
SSW	2,78	TEEL-3 (202000)	740	1100	TEEL-2 (7-9 minutos)
		TEEL-2 (7450)	1500	1540	No
		TEEL-1 (3360)	1900	1740	No
SW	2,42	TEEL-3 (213000)	824	1320	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7210)	1700	2000	No
		TEEL-1 (3390)	2100	2200	No
	2,33	TEEL-3 (218000)	847	1380	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7140)	1700	2040	No
		TEEL-1 (3250)	2100	2300	No
W	2,75	TEEL-3 (201000)	746	1080	TEEL-2 (4-6 minutos)
		TEEL-2 (7110)	1500	1560	No
		TEEL-1 (3300)	1900	1760	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		30.9	Mayo		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (107000)	470	640	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7190)	979	900	No
		TEEL-1 (3340)	1300	1000	No
NNE	4,08	TEEL-3 (86900)	412	500	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7110)	882	700	No
		TEEL-1 (3160)	1100	780	No
NE	4,17	TEEL-3 (83200)	405	480	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7320)	871	680	No
		TEEL-1 (3350)	1100	760	No
ENE	4,69	TEEL-3 (62400)	367	380	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7110)	809	560	No
		TEEL-1 (3000)	1100	640	No
E	4,28	TEEL-3 (82500)	398	480	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7030)	848	670	No
		TEEL-1 (3170)	1100	750	No
S	2,94	TEEL-3 (194000)	721	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7250)	1500	1440	No
		TEEL-1 (3080)	1900	1640	No
SSW	2,78	TEEL-3 (200000)	751	1080	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7390)	1600	1560	No
		TEEL-1 (3200)	1900	1760	No
SW	2,42	TEEL-3 (212000)	836	1340	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7300)	1700	1960	No
		TEEL-1 (3010)	2100	2200	No
WSW	2,33	TEEL-3 (217000)	858	1360	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7260)	1700	2100	No
		TEEL-1 (3230)	2100	2300	No
W	2,75	TEEL-3 (201000)	757	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7160)	1600	1580	No
		TEEL-1 (3250)	2000	1780	No

**Anexo 6b.Continuación.**

Temperatura(°C)		30.5	Junio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		83			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (75700)	387	540	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7160)	814	780	No
		TEEL-1 (3210)	1000	860	No
NNE	4,08	TEEL-3 (53000)	340	408	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7320)	734	600	No
		TEEL-1 (3110)	955	680	No
NE	4,17	TEEL-3 (55200)	334	400	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7020)	723	580	No
		TEEL-1 (3260)	943	640	No
ENE	4,69	TEEL-3 (44600)	307	340	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7080)	674	490	No
		TEEL-1 (3190)	884	550	No
E	4,28	TEEL-3 (51200)	328	360	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7350)	711	560	No
		TEEL-1 (3020)	929	640	No
S	2,94	TEEL-3 (194000)	718	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7320)	1500	1440	No
		TEEL-1 (3180)	1900	1640	No
SSW	2,78	TEEL-3 (201000)	748	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1500	1600	No
		TEEL-1 (3310)	1900	1760	No
SW	2,42	TEEL-3 (213000)	831	1320	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7160)	1700	1940	No
		TEEL-1 (3050)	2100	2100	No
WSW	2,33	TEEL-3 (216000)	854	1400	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7190)	1700	2000	No
		TEEL-1 (3270)	2100	2300	No
W	2,75	TEEL-3 (202000)	755	1120	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7320)	1600	1640	No
		TEEL-1 (3070)	1900	1800	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		31.4	Julio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (77600)	391	540	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7220)	825	760	No
		TEEL-1 (3340)	1100	860	No
NNE	4,08	TEEL-3 (55400)	344	400	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7210)	743	620	No
		TEEL-1 (3250)	967	680	No
NE	4,17	TEEL-3 (54300)	339	400	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7280)	733	600	No
		TEEL-1 (3280)	955	660	No
ENE	4,69	TEEL-3 (44000)	310	320	TEEL-1 (9-11 minutos)
		TEEL-2 (7110)	682	490	No
		TEEL-1 (3280)	894	560	No
E	4,28	TEEL-3 (52300)	332	380	TEEL-1 (9-11 minutos)
		TEEL-2 (7170)	721	560	No
		TEEL-1 (3260)	940	640	No
S	2,94	TEEL-3 (193000)	725	1000	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7330)	1500	1440	No
		TEEL-1 (3040)	1900	1600	No
SSW	2,78	TEEL-3 (199000)	757	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7120)	1600	1600	No
		TEEL-1 (3360)	2000	1760	No
SW	2,42	TEEL-3 (211000)	840	1320	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7140)	1700	2000	No
		TEEL-1 (3260)	2100	2200	No
WSW	2,33	TEEL-3 (218000)	863	1460	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (3190)	1700	2200	No
		TEEL-1 (3320)	2200	2300	No
W	2,75	TEEL-3 (200000)	762	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7430)	1600	1640	No
		TEEL-1 (3390)	2000	1800	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		31.3	<b>Agosto</b>		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		82			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (107000)	472	640	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7420)	985	920	No
		TEEL-1 (3340)	1300	1020	No
NNE	4,08	TEEL-3 (57400)	344	400	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7350)	742	600	No
		TEEL-1 (3280)	965	680	No
NE	4,17	TEEL-3 (54300)	338	400	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7110)	731	580	No
		TEEL-1 (3200)	953	650	No
ENE	4,69	TEEL-3 (45300)	310	320	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7460)	681	490	No
		TEEL-1 (3210)	893	560	No
E	4,28	TEEL-3 (52200)	332	380	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7090)	720	560	No
		TEEL-1 (3360)	939	640	No
S	2,94	TEEL-3 (193000)	724	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7160)	1500	1460	No
		TEEL-1 (3410)	1900	1640	No
SSW	2,78	TEEL-3 (199000)	756	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1600	1600	No
		TEEL-1 (3450)	2000	1800	No
SW	2,42	TEEL-3 (211000)	838	1340	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7460)	1700	2000	No
		TEEL-1 (3240)	2100	2200	No
WSW	2,33	TEEL-3 (218000)	862	1500	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7400)	1700	2020	No
		TEEL-1 (3040)	2100	2400	No
W	2,75	TEEL-3 (200000)	761	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7540)	1600	1600	No
		TEEL-1 (3210)	2000	1800	No



**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		30.8	Septiembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (81700)	389	540	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7160)	818	760	No
		TEEL-1 (3420)	1100	860	No
NNE	4,08	TEEL-3 (55400)	341	410	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7190)	736	590	No
		TEEL-1 (3410)	959	680	No
NE	4,17	TEEL-3 (53500)	336	390	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7250)	726	580	No
		TEEL-1 (3400)	947	650	No
ENE	4,69	TEEL-3 (44900)	308	340	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7460)	677	480	No
		TEEL-1 (3210)	886	550	No
E	4,28	TEEL-3 (51100)	329	380	TEEL-1 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7280)	714	550	No
		TEEL-1 (3470)	932	620	No
S	2,94	TEEL-3 (194000)	720	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7030)	1500	1440	No
		TEEL-1 (3330)	1900	1600	No
SSW	2,78	TEEL-3 (200000)	750	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7100)	1500	1600	No
		TEEL-1 (3410)	1900	1800	No
SW	2,42	TEEL-3 (212000)	835	1340	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7440)	1700	2000	No
		TEEL-1 (3020)	2100	2160	No
WSW	2,33	TEEL-3 (218000)	857	1460	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7220)	1700	2200	No
		TEEL-1 (3360)	2100	2340	No
W	2,75	TEEL-3 (201000)	757	1100	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7460)	1600	1580	No
		TEEL-1 (3190)	2000	1800	No

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		29.3		Octubre		
Nubosidad		4				
Humedad (%)		84				
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores	
N	3,47	TEEL-3 (104000)	459	620	TEEL-2 (8-10 minutos)	
		TEEL-2 (7420)	959	900	No	
		TEEL-1 (3080)	1200	980	No	
NNE	4,08	TEEL-3 (90600)	403	500	TEEL-2 (8-10 minutos)	
		TEEL-2 (7150)	862	700	No	
		TEEL-1 (3210)	1100	760	No	
NE	4,17	TEEL-3 (88500)	395	480	TEEL-2 (8-10 minutos)	
		TEEL-2 (7330)	851	680	No	
		TEEL-1 (3400)	1100	740	No	
ENE	4,69	TEEL-3 (62700)	361	380	TEEL-2 (10-12 minutos)	
		TEEL-2 (7460)	791	540	No	
		TEEL-1 (3290)	1000	620	No	
E	4,28	TEEL-3 (82800)	389	460	TEEL-2 (8-10 minutos)	
		TEEL-2 (7140)	829	640	No	
		TEEL-1 (3260)	1100	720	No	
S	2,94	TEEL-3 (195000)	708	1000	TEEL-2 (6-8minutos)	
		TEEL-2 (7400)	1500	1420	No	
		TEEL-1 (3250)	1800	1600	No	
SSW	2,78	TEEL-3 (201000)	737	1120	TEEL-2 (6-8minutos)	
		TEEL-2 (7340)	1500	1560	No	
		TEEL-1 (3210)	1900	1760	No	
SW	2,42	TEEL-3 (214000)	821	1340	TEEL-2 (5-7 minutos)	
		TEEL-2 (7330)	1700	1900	No	
		TEEL-1 (3170)	2100	2140	No	
WSW	2,33	TEEL-3 (219000)	843	1440	TEEL-2 (5-7 minutos)	
		TEEL-2 (7110)	1700	2040	No	
		TEEL-1 (3210)	2100	2260	No	
W	2,75	TEEL-3 (202000)	743	1120	TEEL-2 (5-7 minutos)	
		TEEL-2 (7360)	1500	1600	No	
		TEEL-1 (3070)	1900	1740	No	

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		27.3		Noviembre		
Nubosidad		5				
Humedad (%)		81				
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores	
N	3,47	TEEL-3 (107000)	447	600	TEEL-2 (9-11 minutos)	
		TEEL-2 (7110)	932	860	No	
		TEEL-1 (3420)	1200	960	No	
NNE	4,08	TEEL-3 (80500)	391	500	TEEL-2 (9-11 minutos)	
		TEEL-2 (7320)	839	680	No	
		TEEL-1 (3000)	1100	740	No	
NE	4,17	TEEL-3 (79500)	386	480	TEEL-2 (9-11 minutos)	
		TEEL-2 (7140)	819	660	No	
		TEEL-1 (3440)	1100	720	No	
ENE	4,69	TEEL-3 (60200)	351	380	TEEL-2 (9-11 minutos)	
		TEEL-2 (7450)	768	540	No	
		TEEL-1 (3290)	1000	600	No	
E	4,28	TEEL-3 (72700)	377	460	TEEL-2 (9-11 minutos)	
		TEEL-2 (7140)	804	640	No	
		TEEL-1 (3010)	1000	720	No	
S	2,94	TEEL-3 (133000)	512	780	TEEL-2 (7-9 minutos)	
		TEEL-2 (7360)	1000	1100	No	
		TEEL-1 (3270)	1300	1220	No	
SSW	2,78	TEEL-3 (148000)	536	820	TEEL-2 (7-9 minutos)	
		TEEL-2 (7480)	1100	1220	No	
		TEEL-1 (3330)	1400	1340	No	
SW	2,42	TEEL-3 (167000)	597	1000	TEEL-2 (6-8 minutos)	
		TEEL-2 (7140)	1200	1480	No	
		TEEL-1 (3060)	1500	1660	No	
WSW	2,33	TEEL-3 (172000)	612	1120	TEEL-2 (6-8 minutos)	
		TEEL-2 (7380)	1200	1580	No	
		TEEL-1 (3020)	1600	1780	No	
W	2,75	TEEL-3 (204000)	726	1080	TEEL-2 (7-9 minutos)	
		TEEL-2 (7050)	1500	1520	No	
		TEEL-1 (3040)	1900	1700	No	

**Anexo 6b.**Continuación.

Temperatura(°C)		26.5	Diciembre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		79			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Conc (ppm)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	TEEL-3 (103000)	441	580	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7290)	921	860	No
		TEEL-1 (3240)	1200	940	No
NNE	4,08	TEEL-3 (84000)	388	490	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7310)	822	660	No
		TEEL-1 (3460)	1100	760	No
NE	4,17	TEEL-3 (80000)	380	480	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7090)	808	650	No
		TEEL-1 (3220)	1000	740	No
ENE	4,69	TEEL-3 (58100)	347	380	TEEL-2 (11-13 minutos)
		TEEL-2 (7370)	758	520	No
		TEEL-1 (3350)	991	600	No
E	4,28	TEEL-3 (72600)	372	460	TEEL-2 (10-12 minutos)
		TEEL-2 (7230)	794	620	No
		TEEL-1 (3180)	1000	700	No
S	2,94	TEEL-3 (190000)	684	940	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7480)	1400	1400	No
		TEEL-1 (3110)	1800	1600	No
SSW	2,78	TEEL-3 (200000)	712	1000	TEEL-2 (8-10 minutos)
		TEEL-2 (7250)	1500	1480	No
		TEEL-1 (3170)	1800	1660	No
SW	2,42	TEEL-3 (230000)	793	1280	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7150)	1600	1860	No
		TEEL-1 (3440)	2000	2100	No
WSW	2,33	TEEL-3 (213000)	815	1360	TEEL-2 (5-7 minutos)
		TEEL-2 (7440)	1700	1960	No
		TEEL-1 (3390)	2000	2200	No
W	2,75	TEEL-3 (204000)	718	1000	TEEL-2 (6-8 minutos)
		TEEL-2 (7380)	1500	1480	No
		TEEL-1 (3480)	1800	1660	No

**Anexo 6c.** Resumen del comportamiento de las áreas de riesgos generadas por la explosión de una nube de vapor en los diferentes meses del año para balas de 100 m<sup>3</sup>.

Temperatura(°C)		26.1	Enero		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	465	200	No
		LOC-1 (1.47)	619	700	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	405	180	No
		LOC-1 (1.38)	554	640	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	400	170	No
		LOC-1 (1.35)	546	630	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	365	156	No
		LOC-1 (1.38)	500	590	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	390	176	No
		LOC-1 (1.37)	536	610	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	731	240	No
		LOC-1 (1.40)	872	800	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	764	240	No
		LOC-1 (1.43)	906	840	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	844	260	No
		LOC-1 (1.39)	985	860	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	865	240	No
		LOC-1 (1.31)	1000	880	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	770	240	No
		LOC-1 (1.44)	912	840	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		25.9	Febrero		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		75			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	463	200	No
		LOC-1 (1.45)	617	700	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	403	180	No
		LOC-1 (1.43)	553	640	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	398	170	No
		LOC-1 (1.39)	544	620	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	363	168	No
		LOC-1 (1.35)	469	580	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	389	180	No
		LOC-1 (1.46)	534	624	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	728	240	No
		LOC-1 (1.38)	870	820	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	762	220	No
		LOC-1 (1.37)	903	840	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	841	260	No
		LOC-1 (1.44)	983	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	863	260	No
		LOC-1 (1.32)	1000	880	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	768	240	No
		LOC-1 (1.40)	910	820	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		28.2	<b>Marzo</b>		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		74			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	483	200	No
		LOC-1 (1.32)	637	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	423	180	No
		LOC-1 (1.45)	567	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	411	176	No
		LOC-1 (1.39)	561	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	375	176	No
		LOC-1 (1.34)	513	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	406	176	No
		LOC-1 (1.42)	550	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	754	240	No
		LOC-1 (1.45)	895	840	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	786	240	No
		LOC-1 (1.41)	927	840	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	864	240	No
		LOC-1 (1.44)	1000	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	884	260	No
		LOC-1 (1.38)	1000	880	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	792	240	No
		LOC-1 (1.46)	934	860	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		29.7	Abril		
Nubosidad		3			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	479	200	No
		LOC-1 (1.43)	647	740	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	410	183	No
		LOC-1 (1.38)	577	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	401	190	No
		LOC-1 (1.47)	571	650	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	364	176	No
		LOC-1 (1.44)	522	610	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	393	183	No
		LOC-1 (1.46)	571	644	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	766	240	No
		LOC-1 (1.35)	905	840	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	798	240	No
		LOC-1 (1.40)	937	860	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	876	260	No
		LOC-1 (1.49)	1000	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	894	260	No
		LOC-1 (1.38)	1000	900	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	805	240	No
		LOC-1 (1.32)	944	880	No



**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		30.9	Mayo		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	474	200	No
		LOC-1 (1.43)	653	740	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	396	190	No
		LOC-1 (1.49)	585	680	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	386	190	No
		LOC-1 (1.38)	578	660	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	338	176	No
		LOC-1 (1.33)	529	630	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	372	176	No
		LOC-1 (1.48)	569	650	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	767	240	No
		LOC-1 (1.39)	913	880	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	799	240	No
		LOC-1 (1.35)	944	860	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	878	260	No
		LOC-1 (1.47)	1000	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	897	240	No
		LOC-1 (1.40)	1000	900	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	805	240	No
		LOC-1 (1.35)	950	880	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		30.5	Junio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		83			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	382	200	No
		LOC-1 (1.34)	584	710	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	328	190	No
		LOC-1 (1.43)	516	640	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	322	183	No
		LOC-1 (1.48)	513	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	293	170	No
		LOC-1 (1.39)	475	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	315	180	No
		LOC-1 (1.40)	504	630	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	764	240	No
		LOC-1 (1.34)	910	840	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	797	240	No
		LOC-1 (1.35)	942	880	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	876	240	No
		LOC-1 (1.39)	1000	900	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	902	240	No
		LOC-1 (1.45)	1000	900	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	804	240	No
		LOC-1 (1.33)	948	880	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		31.4	Julio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	386	200	No
		LOC-1 (1.32)	590	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	310	190	No
		LOC-1 (1.45)	525	650	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	302	180	No
		LOC-1 (1.48)	517	750	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	277	170	No
		LOC-1 (1.43)	480	360	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	293	190	No
		LOC-1 (1.47)	509	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	771	240	No
		LOC-1 (1.39)	917	860	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	803	240	No
		LOC-1 (1.45)	947	860	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	881	260	No
		LOC-1 (1.40)	1000	900	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	900	260	No
		LOC-1 (1.44)	1000	900	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	810	240	No
		LOC-1 (1.42)	953	860	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		31.3	<b>Agosto</b>		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		82			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	476	200	No
		LOC-1 (1.43)	656	560	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	310	180	No
		LOC-1 (1.34)	524	640	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	302	190	No
		LOC-1 (1.46)	517	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	279	170	No
		LOC-1 (1.47)	480	590	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	294	180	No
		LOC-1 (1.37)	509	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	770	260	No
		LOC-1 (1.40)	916	840	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	803	260	No
		LOC-1 (1.48)	947	880	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	880	260	No
		LOC-1 (1.32)	1000	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	899	260	No
		LOC-1 (1.36)	1000	900	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	809	240	No
		LOC-1 (1.30)	953	880	No

**Anexo 6c.**Continuación.

Temperatura(°C)		30.8	Septiembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	382	200	No
		LOC-1 (1.43)	586	700	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	318	180	No
		LOC-1 (1.31)	521	650	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	313	180	No
		LOC-1 (1.45)	514	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	288	170	No
		LOC-1 (1.37)	477	590	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	311	180	No
		LOC-1 (1.49)	506	630	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	366	260	No
		LOC-1 (1.46)	912	860	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	798	240	No
		LOC-1 (1.43)	944	880	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	878	260	No
		LOC-1 (1.36)	1000	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	897	260	No
		LOC-1 (1.40)	1000	880	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	805	240	No
		LOC-1 (1.46)	950	860	No

**Anexo 6c.Continuación.**

Temperatura(°C)		29.3	Octubre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	481	200	No
		LOC-1 (1.48)	645	740	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	415	190	No
		LOC-1 (1.37)	577	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	406	180	No
		LOC-1 (1.35)	569	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	369	180	No
		LOC-1 (1.43)	520	620	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	398	180	No
		LOC-1 (1.39)	558	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	763	260	No
		LOC-1 (1.32)	903	880	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	796	240	No
		LOC-1 (1.46)	935	880	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	873	280	No
		LOC-1 (1.50)	1000	900	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	892	260	No
		LOC-1 (1.47)	1000	920	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	802	240	No
		LOC-1 (1.39)	942	880	No

**Anexo 6c.**Continuación.

Temperatura(°C)		27.3	Noviembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	475	200	No
		LOC-1 (1.34)	629	700	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	415	190	No
		LOC-1 (1.51)	564	650	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	409	180	No
		LOC-1 (1.43)	554	620	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	369	160	No
		LOC-1 (1.46)	508	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	399	180	No
		LOC-1 (1.37)	544	630	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	548	240	No
		LOC-1 (1.32)	710	770	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	576	240	No
		LOC-1 (1.43)	738	800	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	646	240	No
		LOC-1 (1.48)	806	840	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	665	240	No
		LOC-1 (1.42)	824	840	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	783	240	No
		LOC-1 (1.33)	925	860	No

**Anexo 6c.**Continuación.

Temperatura(°C)		26.5	Diciembre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		79			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	468	200	No
		LOC-1 (1.44)	622	700	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	407	180	No
		LOC-1 (1.35)	577	330	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	402	190	No
		LOC-1 (1.54)	548	330	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	367	170	No
		LOC-1 (1.34)	503	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	393	180	No
		LOC-1 (1.36)	538	620	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	735	240	No
		LOC-1 (1.45)	877	800	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	768	240	No
		LOC-1 (1.37)	910	840	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	848	260	No
		LOC-1 (1.46)	989	880	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	868	260	No
		LOC-1 (1)	1000	880	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	774	240	No
		LOC-1 (1)	916	860	No



**Anexo 6d.** Resumen del comportamiento de las áreas de riesgos generadas por la explosión de una nube de vapor en los diferentes meses del año para balas de 200 m<sup>3</sup>.

Temperatura(°C)		26.1	Enero		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	460	200	No
		LOC-1 (1.44)	626	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	400	190	No
		LOC-1 (1.37)	559	650	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	395	180	No
		LOC-1 (1.49)	553	630	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	364	180	No
		LOC-1 (1.46)	506	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	385	180	No
		LOC-1 (1.40)	542	630	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	722	240	No
		LOC-1 (1.32)	868	880	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	753	260	No
		LOC-1 (1.39)	908	940	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	850	260	No
		LOC-1 (1.39)	1000	980	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	878	280	No
		LOC-1 (1.44)	1000	1000	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	760	260	No
		LOC-1 (1.37)	916	920	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		25.9	<b>Febrero</b>		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		75			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	458	720	No
		LOC-1 (1.47)	624	200	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	398	180	No
		LOC-1 (1.41)	557	630	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	393	180	No
		LOC-1 (1.33)	551	620	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	362	180	No
		LOC-1 (1.37)	505	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	384	180	No
		LOC-1 (1.48)	541	620	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	720	260	No
		LOC-1 (1.41)	866	880	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	750	260	No
		LOC-1 (1.36)	905	920	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	846	280	No
		LOC-1 (1.38)	1000	1000	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	875	280	No
		LOC-1 (1.45)	1000	1000	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	758	280	No
		LOC-1 (1.49)	913	920	No

**Anexo 6d.Continuación.**

Temperatura(°C)		28.2	<b>Marzo</b>		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		74			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	474	200	No
		LOC-1 (1.36)	641	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	416	200	No
		LOC-1 (1.42)	573	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	408	190	No
		LOC-1 (1.44)	568	650	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	374	180	No
		LOC-1 (1.48)	516	610	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	401	180	No
		LOC-1 (1.39)	557	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	742	260	No
		LOC-1 (1.42)	895	920	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	779	280	No
		LOC-1 (1.34)	935	960	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	878	300	No
		LOC-1 (1.41)	1000	1000	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	909	300	No
		LOC-1 (1.39)	1100	1000	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	786	280	No
		LOC-1 (1.45)	944	900	No

**Anexo 6d.Continuación.**

Temperatura(°C)		29.7	Abril		
Nubosidad		3			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	486	110	No
		LOC-1 (1.34)	652	740	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	428	200	No
		LOC-1 (1.39)	583	680	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	419	190	No
		LOC-1 (1.31)	577	680	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	382	190	No
		LOC-1 (1.48)	527	630	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	411	190	No
		LOC-1 (1.41)	567	650	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	759	280	No
		LOC-1 (1.47)	914	970	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	796	280	No
		LOC-1 (1.33)	955	960	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	899	300	No
		LOC-1 (1.37)	1100	1020	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	930	320	No
		LOC-1 (1.50)	1100	1060	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	802	280	No
		LOC-1 (1.44)	963	980	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		30.9	<b>Mayo</b>		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		78			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	496	220	No
		LOC-1 (1.33)	661	760	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	435	200	No
		LOC-1 (1.51)	591	680	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	428	200	No
		LOC-1 (1.37)	583	680	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	388	180	No
		LOC-1 (1.42)	535	330	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	421	190	No
		LOC-1 (1.43)	571	660	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	773	260	No
		LOC-1 (1.46)	928	940	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	809	300	No
		LOC-1 (1.38)	969	960	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	915	300	No
		LOC-1 (1.36)	1100	1040	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	947	320	No
		LOC-1 (1.37)	1100	1060	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	817	300	No
		LOC-1 (1.41)	978	960	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		30.5	<b>Junio</b>		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		83			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	420	200	No
		LOC-1 (1.44)	589	700	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	371	190	No
		LOC-1 (1.38)	525	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	364	190	No
		LOC-1 (1.39)	517	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	335	170	No
		LOC-1 (1.41)	479	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	356	190	No
		LOC-1 (1.37)	509	330	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	769	280	No
		LOC-1 (1.40)	923	940	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	804	280	No
		LOC-1 (1.49)	965	950	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	910	300	No
		LOC-1 (1.32)	1100	1100	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	941	300	No
		LOC-1 (1.29)	1100	1060	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	812	300	No
		LOC-1 (1.48)	973	1000	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		31.4	Julio		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	429	200	No
		LOC-1 (1.42)	596	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	373	200	No
		LOC-1 (1.39)	529	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	370	190	No
		LOC-1 (1.34)	523	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	336	170	No
		LOC-1 (1.48)	484	610	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	362	180	No
		LOC-1 (1.39)	514	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	779	260	No
		LOC-1 (1.37)	934	940	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	815	300	No
		LOC-1 (1.51)	976	960	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	922	280	No
		LOC-1 (1.34)	1100	1020	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	946	240	No
		LOC-1 (1.36)	1100	1040	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	823	280	No
		LOC-1 (1.29)	984	960	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		31.3	<b>Agosto</b>		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		82			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	499	220	No
		LOC-1 (1.34)	664	760	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	372	180	No
		LOC-1 (1.32)	529	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	370	180	No
		LOC-1 (1.39)	522	650	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	336	170	No
		LOC-1 (1.45)	483	610	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	362	180	No
		LOC-1 (1.48)	513	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	778	260	No
		LOC-1 (1.49)	933	940	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	814	280	No
		LOC-1 (1.36)	974	980	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	920	280	No
		LOC-1 (1.40)	1100	1040	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	947	300	No
		LOC-1 (1.34)	1100	1060	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	822	280	No
		LOC-1 (1.51)	983	980	No



**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		30.8	Septiembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	421	200	No
		LOC-1 (1.34)	592	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	373	200	No
		LOC-1 (1.45)	526	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	366	180	No
		LOC-1 (1.39)	519	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	336	180	No
		LOC-1 (1.49)	481	650	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	358	180	No
		LOC-1 (1.32)	510	630	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	772	280	No
		LOC-1 (1.37)	927	940	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	808	280	No
		LOC-1 (1.41)	968	980	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	914	300	No
		LOC-1 (1.52)	1100	1040	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	946	280	No
		LOC-1 (1.43)	1100	1060	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	816	260	No
		LOC-1 (1.48)	977	960	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		29.3	Octubre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		84			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	483	200	No
		LOC-1 (1.38)	650	750	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	426	200	No
		LOC-1 (1.37)	582	670	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	416	180	No
		LOC-1 (1.44)	573	660	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	380	180	No
		LOC-1 (1.35)	525	630	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	409	180	No
		LOC-1 (1.40)	565	660	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	755	240	No
		LOC-1 (1.49)	909	920	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	792	260	No
		LOC-1 (1.38)	949	960	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	893	280	No
		LOC-1 (1.47)	1100	1020	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	925	300	No
		LOC-1 (1.35)	1100	1060	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	799	240	No
		LOC-1 (1.39)	958	960	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		27.3	Noviembre		
Nubosidad		5			
Humedad (%)		81			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	467	200	No
		LOC-1 (1.32)	635	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	409	200	No
		LOC-1 (1.47)	568	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	403	180	No
		LOC-1 (1.40)	562	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	371	180	No
		LOC-1 (1.44)	513	620	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	394	180	No
		LOC-1 (1.39)	551	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	536	230	No
		LOC-1 (1.32)	713	810	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	566	240	No
		LOC-1 (1.35)	741	840	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	636	240	No
		LOC-1 (1.52)	820	920	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	657	280	No
		LOC-1 (1.32)	844	940	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	571	240	No
		LOC-1 (1.38)	746	840	No

**Anexo 6d.**Continuación.

Temperatura(°C)		26.5	Diciembre		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		79			
Dirección del Viento	Vel Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores
N	3,47	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	462	200	No
		LOC-1 (1.49)	629	720	No
NNE	4,08	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	404	190	No
		LOC-1 (1.45)	564	660	No
NE	4,17	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	397	180	No
		LOC-1 (1.42)	555	640	No
ENE	4,69	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	367	170	No
		LOC-1 (1.37)	509	600	No
E	4,28	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	387	180	No
		LOC-1 (1.38)	545	640	No
S	2,94	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	728	260	No
		LOC-1 (1.43)	873	920	No
SSW	2,78	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	758	260	No
		LOC-1 (1.39)	913	920	No
SW	2,42	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	855	240	No
		LOC-1 (1.33)	1000	1000	No
WSW	2,33	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	884	240	No
		LOC-1 (1.29)	1100	1000	No
W	2,75	LOC-3 (-)	-	-	
		LOC-2 (6.33)	766	260	No
		LOC-1 (1.47)	921	940	No