

Universidad de Matanzas

“Camilo Cienfuegos”

Facultad de Ingenierías

Departamento de Ingeniería Química



Título: “Evaluación de áreas de atmósferas peligrosas en la
Planta Energas S.A Varadero”

Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Químico

Autora: Laura Hortensia Cruz Mora.

Tutor: Ing. Daimarys Castro Hernández.

Matanzas, Cuba

Julio 2013

Declaración de autoría.

Yo, Laura Hortensia Cruz Mora, declaro que soy la única autora de este Trabajo de Diploma y lo pongo a disposición de la Empresa Energas S.A, Varadero y de la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, para hacer uso del mismo con el objetivo y finalidad que se estime conveniente.

Laura H. Cruz Mora

Nota de Aceptación.

Presidente del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Miembro del Tribunal

Firma

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de _____ del 2013.

Pensamiento



*"Que la enseñanza científica vaya,
como la sabia en los árboles, de la
raíz al tope de la educación
pública."*

José Martí

Dedicatoria.

- **A mi pequeña Verónica**, por ser mi razón de ser.
- **A mis abuelos Pina y Héctor** por quererme, apoyarme, comprenderme y desear tanto que se realizara este sueño.
- **A mi mamá Margarita del Carmen y mi papá Humberto Cruz** por quererme y apoyarme durante estos cinco años.
- **A mi esposo Danny** por comprenderme durante todos estos años y hacerme tan feliz.
- **A mis hermanas, Linneth y Laís** por apoyarme en todo momento y por ser las mejores hermanas del mundo.
- **A mi profe Santiago Díaz** por apoyarme durante todo este tiempo, por brindarme tanta confianza y por ser el mejor profe del mundo.

Agradecimientos.

- A Ing. Santiago Díaz MsC, por las horas inagotables que le dedicó para que este trabajo fuese posible.
- A mi tutora Ing. Daimarys Castro Hernández por dedicar parte de su tiempo en la realización de este trabajo.
- A Dr. Jesús L. Orozco por su ayuda durante todo este tiempo.
- A mi inigualable amiga Dayanis Pacheco Márquez por ser de gran apoyo en mi vida.
- A mi amiga Vilma Linares, por su paciencia incondicional y por brindarme tanta seguridad durante todo este tiempo.
- A mis compañeros de aula y amigos por los buenos momentos que pasamos juntos en especial a Sady, Iliet y Alejandro Díaz.
- A mis tías Carmen Rosa y Pitina por haberme brindado su abrigo cuando más lo necesitaba.
- Gracias a todos los profesores de la facultad de química por las excelentísimas clases que me impartieron y poner a mi disposición sus conocimientos.
- A los compañeros de la Planta Energas S.A Varadero por su ayuda en la recolección de datos para este trabajo, especialmente a Eduardo Hernández.
- En general a toda mi familia por su amor y ayuda en todo momento.

Resumen

El presente trabajo de diploma se realiza en la Empresa Energas S.A, Varadero. El mismo consiste en determinar los riesgos operacionales que se pueden presentar, los cuales fueron evaluados mediante las técnicas de HAZOP, se establece también, mediante el uso del *software* ALOHA, la distancia que es capaz de alcanzar un BLEVE o un Jet Fire en las diferentes zonas que indica el programa, así como la distancia alcanzada por una nube tóxica de sulfuro de hidrógeno y con esas predicciones se establece cómo afecta a las personas que trabajan en la empresa y a los habitantes que viven cercanos a ella. Los resultados muestran que las sustancias de mayor riesgo atendiendo a su distancia longitudinal, radiación y rumbo del viento son: gas licuado en el caso del BLEVE y el propano para el Jet Fire. Finalmente se muestran los efectos de una nube tóxica de sulfuro de hidrógeno.

SUMMARY

The present work of diploma is carried out in the Company Energas S.A, Varadero. This work consists on determining the operational risks which can be presented, which were evaluated through the HAZOP technique, also it's established, through the use of software Aloha, the distance which is able to reach a BLEVE a Jet Fire in their different zones indicated by the program, also the distance reached by a toxic cloud of hydrogen sulfide and with their prediction it's established how affects to the persons who work in the plant and the habitants who live near it. The results show that the substances of high risk related to the longitudinal distance, radiation and the course of the wind are liquefied gas in the case of BLEVE and the propane for Jet Fire. Finally are shown the effects of a toxic cloud of hydrogen sulfide.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I: Análisis Bibliográfico.....	3
1.1 Principales definiciones sobre los riesgos.....	3
1.2 Definición de peligro, accidente, emergencia, desastre y su nomenclatura.	5
1.3 Definición de incendio, explosión, Fire Ball, BLEVE y Jet Fire.	9
1.4 Clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos sobre el organismo.....	13
1.5 Gestión de la prevención de los riesgos químicos.	17
1.6 La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera.	19
1.7 Modelos de dispersión.	21
1.8 Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).	24
1.8.1 Organización del estudio.....	24
1.8.2 Requisitos y limitaciones.	25
1.8.3 Resultados y aplicabilidad.....	25
1.9 Determinación de áreas peligrosas. El Software ALOHA.....	26
1.10 Conclusiones parciales del capítulo.	26
Capítulo II: Materiales y Métodos.....	27
2.1 Descripción detallada del proceso.	27
2.2 Procedimiento para la caracterización climatológica de la zona objeto de estudio.....	31
2.3 Procedimiento de identificación de las sustancias involucradas en el proceso.	32
2.4 Aplicación de la técnica HAZOP para la evaluación de los riesgos operacionales del proceso.....	34
2.4.1 Metodología para el análisis.....	34
2.5 Caracterización del software ALOHA.	35
2.5.1 Aspectos generales de la modelación con ALOHA.	35
2.6 Metodología para la utilización del software ALOHA.....	37
Capítulo III: Análisis de los resultados.....	40
3.1 Resultados de la caracterización del clima de la zona objeto de estudio.	40
3.2 Análisis de las sustancias peligrosas que pueden provocar posibles accidentes en la zona de estudio.....	43

3.3	Resultados de la aplicación de las técnicas de análisis de HAZOP.....	45
3.4	Resultados de la aplicación del software ALOHA.	47
3.4.1.	Establecimiento de las condiciones de trabajo con el <i>software</i>	47
3.4.2	Estimación del comportamiento de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA para los escenarios objeto de estudio.....	48
3.4.3	Resumen del comportamiento de las áreas de riesgo para los diferentes escenarios y contaminantes.	52
3.4.4	Análisis de los resultados de la dispersión de la nube tóxica de sulfuro de hidrógeno.	56
3.4.5	Impacto de las predicciones realizadas sobre la zona objeto de estudio.....	59
	Conclusiones.....	61
	Recomendaciones	62
	Bibliografía.....	63
	Anexos.....	67

Introducción.

El desarrollo científico técnico de un país determina la necesidad de crear una industria que permita asegurar la materia prima, por una parte y la elaboración de productos necesarios para el consumo interno y para la exportación, por la otra. Para lograr este desarrollo, la industria química y biotecnológica ha tenido un fuerte incremento en los últimos años. Esto ha dado lugar a la proliferación de instalaciones industriales, el aumento casi constante de su tamaño, el consiguiente incremento de los inventarios de los productos contenidos en dichas plantas, y el aumento del transporte de estos productos por carretera, ferrocarril, tubería o por mar.

Todo este desarrollo científico técnico, conlleva también a una mayor probabilidad del aumento del riesgo para provocar un desastre de origen tecnológico, aumentando la posibilidad de grandes accidentes con un fuerte impacto sobre personas, el medio ambiente y los bienes. Este tipo de desastre está directamente relacionado con la actuación del hombre en la realización de distintos procesos tecnológicos con determinado grado de peligro. Son innumerables los tristes hechos que recoge la historia como consecuencia de escapes, explosiones o incendios provocados por este sector industrial.

Por esta razón en los últimos años, en buena parte del mundo se le ha otorgado al estudio de riesgos industriales un espacio importante. En Cuba en particular la prevención de desastres de cualquier tipo siempre ha sido una preocupación permanente del estado, y aunque se ha trabajado fuerte en este sentido se encuentran hoy en el país un sin número de procesos que por su complejidad presentan determinado porcentaje de riesgos. Tal es el caso de la planta de tratamiento de gas y generación eléctrica Energas.S.A Varadero, ubicada en la carretera Cárdenas Varadero y colinda con la Batería Central (Planta de Procesamiento de Crudos). La planta ha sido diseñada para la producción de energía eléctrica a través del gas acompañante del petróleo, este es una mezcla de hidrocarburos cuyo componente principal es el metano, acompañado de otros hidrocarburos e impurezas como agua, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, entre otros. Es el combustible menos dañino al ambiente, por lo que es denominado combustible verde y considerado como la alternativa energética del siglo XXI, de ahí su creciente uso a escala mundial para satisfacer los requerimientos energéticos, por ello, debemos conocer los peligros que representa un posible escape de esta sustancia y a quienes afectaría, presentándose así el siguiente problema:

Problema científico: ¿Cómo determinar el peligro potencial que puede representar para la población o el medio ambiente posibles accidentes químicos en la Empresa Energas S.A, Varadero?

Hipótesis: Si se realiza un estudio de riesgos con el uso de las Técnicas HAZOP y el software ALOHA se podrá determinar y evaluar los riesgos presentes en la Empresa Energas S.A, Varadero.

Objetivo general: Determinar y evaluar, con el uso de la Técnica HAZOP y el Software ALOHA, los riesgos presentes en la Empresa Energas S.A, Varadero.

Objetivo específicos:

1. Realizar la caracterización de las sustancias más peligrosas en el proceso.
2. Definir los posibles riesgos y sus consecuencias en el proceso mediante la técnica de HAZOP.
3. Evaluar las áreas de atmósferas peligrosas de los escenarios de BLEVE y Jet Fire.
4. Evaluar la dispersión de una nube tóxica de la sustancia más peligrosa desde el punto de vista toxicológico.

Capítulo I: Análisis Bibliográfico

El presente capítulo aborda diferentes definiciones relacionadas con riesgo, accidentes, emergencia, específicamente los riesgos por incendio y explosión, entre otros. Son comprendidos también en este apartado, los principales métodos de evaluación de riesgos, la clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos en el organismo y el plan de prevención en caso de riesgos químicos. Para la realización de este capítulo se visitó el centro de información de la "Universidad de Matanzas", la biblioteca de Energas.S.A Varadero y diferentes sitios relacionados con la temática en Internet.

1.1 Principales definiciones sobre los riesgos.

Se han propuesto diversas definiciones de riesgo: "situación que puede conducir a una consecuencia negativa no deseada en un acontecimiento", o bien "probabilidad de que suceda un determinado peligro potencial", o aún "consecuencias no deseadas de una actividad dada, en relación con la probabilidad de que ocurra". (Casal, 2001)

Para autores como Badia, (2004) los Riesgos Químicos son los provocados por todas aquellas sustancias químicas, inorgánicas u orgánicas, de diferentes características y fórmulas, presentándose de forma líquida, sólida, gaseosa, en aerosoles, nieblas, vapores, etcétera.

Para propósitos de Ingeniería el riesgo se describe como las pérdidas esperadas (pérdidas humanas, personas lesionadas, daño a la propiedad e interrupción de las actividades económicas), causadas por un fenómeno en particular. Riesgo es la función de la probabilidad de sucesos particulares y las pérdidas que cada una causa. Correa, (2004); Morales, (2004).

La concepción del riesgo es una abstracción de origen completamente humano, que se asocia con la idea de prevenir sin certeza, ha estado presente siempre en las sociedades humanas. El riesgo es la probabilidad de que una amenaza se convierta en desastre.

Para poder medir el riesgo la expresión más generalizada es el producto de la probabilidad de la ocurrencia del evento considerado por las consecuencias esperadas:

Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad, es decir, esta fórmula expresa matemáticamente que: si estamos ante la presencia de una amenaza (peligro) y surge una vulnerabilidad (humana) asociada ante la misma, entonces existe un riesgo. La amenaza era considerada como el factor activo y la vulnerabilidad como el factor pasivo. (Soldano, 2008), (Maskrey, 1994)

Para la evaluación de la vulnerabilidad podemos discriminar sus componentes principales (Soldano, 2008)

- Exposición: Es la distribución de lo que es potencialmente afectable (Población y bienes)
- Vulnerabilidad (propriadamente dicha): Consiste en la capacidad diferenciada de hacer frente al evento catastrófico, consiste en las siguientes actividades:
 - Preparación
 - Prevención
 - Estrategias de recuperación
- Incertidumbre: Limitaciones en el estado del conocimiento y las indeterminaciones jurisdiccionales, administrativas y normativas. Se Pueden clasificar como:
 - Incertidumbre técnico- científica
 - Incertidumbre político-administrativa

Para la evaluación del peligro se han desarrollado hasta el presente cuatro tipos de evaluaciones:

- Análisis histórico: El mapeo de eventos históricos permite determinar períodos de retorno y magnitud de los mismos.
- Análisis Heurístico (o Experto): La susceptibilidad (mayor o menor predisposición) del territorio ante un tipo particular de amenaza es determinada por un especialista (en esta amenaza) basado en su experiencia (determinara los criterios y su ponderación).
- Análisis estadístico: Analiza las condiciones bajo las cuales ocurrieron los eventos generadores de amenaza en basa a relaciones estadísticas de los datos de los mismos.
- Análisis determinístico: Se simulan los eventos utilizando modelos matemáticos basados en los fenómenos involucrados.

Según Acosta (2008), López (2010), se define el riesgo como el daño causado por la probabilidad de ocurrencia de dicho daño.

Riesgo = Daño x Probabilidad

Según Gálvez, 2001 el riesgo es la probabilidad de exceder un valor específico de daños, en un lugar dado y durante un tiempo de exposición determinado. El riesgo existe en función de la amenaza y vulnerabilidad.

Los riesgos de forma general se pueden clasificar según Casal (*et. al*, 2001) de la siguiente forma:

- Riesgos convencionales: relacionados con la actividad y el equipo existente en cualquier sector (electrocución, caídas).

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

1.2 Definición de peligro, accidente, emergencia, desastre y su nomenclatura.

La humanidad en forma constante está expuesta a amenazas existentes en su entorno, añade a esta vulnerabilidad, el uso inapropiado del espacio y su conducta a menudo transgresora. Tanto los sucesos naturales como los derivados por la actividad humana, son causas de emergencias, peligros y desastres en todo el mundo.

Según Smith (1996), los peligros, riesgos y desastres operan en diferentes escalas y conforme a la severidad se les pueden reconocer las siguientes amenazas:

- Peligro para la gente(muerte, lesiones, enfermedad, stress)
- Peligro para los bienes (daños a la propiedad, pérdida económica)
- Peligro para el ambiente(pérdida de la flora y fauna, contaminación)

Para Cutter (1993), los peligros no son actos de Dios, ni tampoco un evento extremo geofísico, son producto de nuestra sociedad. Como tales están metidos en un contexto más amplio, político, económico, social e histórico y son inseparables de ello. Es imposible entender el peligro sin examinar el contexto dentro del cual ocurre. Los elementos de complejidad, sorpresa e interdependencia, son características principales de los peligros.

Para OIT (1993), el rápido aumento del empleo de sustancias químicas peligrosas en la industria y el comercio ha producido un incremento del número de personas, tanto trabajadores como ciudadanos en general, cuya vida podría estar en peligro en cualquier momento debido a un accidente ocasionado por esas sustancias. Además plantean que los riesgos industriales graves suelen estar relacionadas con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión (escape) de sustancias (gases) químicas tóxicas.

Hay responsabilidades inherentes a la causa de un daño, y que por ello se recurre al aseguramiento (mediante pólizas comerciales) para tratar al menos de remediar los perjuicios económicos del daño causado, o las responsabilidades civiles ajenas.

Como complemento conviene listar un glosario de términos que se utilizan con acepciones muy específicas en el ámbito de la seguridad industrial.

Daño: Perjuicio causado en las personas, propiedades o medio ambiente, incluyendo tanto los de tipo biológico, con su repercusión económica correspondiente, y los meramente económicos. Zagal, (1996); PNUMA/IPSC, (1999); Rodríguez, (2006), Hernández, (2009); López, (2010).

Peligro: Es interesante matizar aquí la diferencia entre riesgo y peligro. Puede definirse el peligro como aquello que puede producir un accidente o un daño. El riesgo, sin embargo, estaría asociado a la probabilidad de que un peligro se convierta realmente en un accidente con unas consecuencias determinadas Muñoz (1992); Hernández, (2009)

Autores como PNUMA/IPSC (1999) afirman que el peligro es la posibilidad de que una sustancia, mezcla de sustancias o procesos que involucran sustancias –bajo ciertas condiciones de producción, uso o disposición– causen efectos adversos en los organismos o en el ambiente, por sus propiedades inherentes y de acuerdo con el grado de exposición; en otras palabras, es una fuente de daño.

Peligro, se define según Galán (2002); Hernández, (2009) como el riesgo o contingencia inminente de que suceda algún mal, el lugar, paso, obstáculo o situación en que aumenta la inminencia del daño. Se considera que es una propiedad intrínseca de la sustancia para causar un efecto adverso.

Probabilidad de suceso: Es la frecuencia con la que se presenta, o se espera que se presente, un determinado suceso accidental, que da origen a una cadena de consecuencias.

Accidente: De forma general se trata como una situación no habitual en el oficio o instalación que se considera. PNUMA/IPSC, (1999); Rodríguez, (2006); Hernández, (2009); López, (2010).

Según Linares, (2001), se conoce como accidente de trabajo, toda aquella lesión corporal que el trabajador sufra con ocasión o por consecuencia del trabajo que ejecuta por cuenta ajena. Es decir que si no hay lesiones no existe accidente.

Accidente químico: Se produce como resultado de una avería, creando una contaminación química del medio ambiente circundante, que produce la afectación de los trabajadores y la población del área e incluso la muerte de algunos de los afectados, siempre que no exceda una cantidad a partir de la cual se considera un desastre. PNUMA/IPSC, (1999).

Existen diversas categorías de accidentes:

➤ **Categoría 1:** Sólo dañan materiales en la instalación.

- **Categoría 2:** Se prevén posibles víctimas y daños materiales, el efecto exterior es leve.
- **Categoría 3:** Hay víctimas, daños materiales y al medio ambiente. Se afectan zonas externas. Los accidentes de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria están casi siempre asociados a la pérdida de contención de un producto tóxico o inflamable, generalmente un fluido. En función del estado del mismo y de sus características, puede producirse un incendio, una nube tóxica o inflamable. Rodríguez, (2006); Hernández, (2009); Acosta, (2008); López, (2010); Castro, (2012)

Desastre: Son alteraciones intensas en las personas, los bienes, los servicios y el medio ambiente causadas por un suceso natural o provocadas por la actividad humana, que sobrepasan la capacidad de respuesta de la comunidad afectada, por lo que requiere apoyo externo. Gálvez, (2001)

Los desastres pueden considerarse como una serie de etapas en una secuencia de tiempo y pueden ser naturales o tecnológicos.

- **Desastres naturales:** Huracanes, terremotos, sequías, intensas lluvias etc.
- **Desastres tecnológicos:** Químicos, biológicos, radiológicos etc.

Desastres tecnológicos: Son situaciones en las cuales un gran número de personas, propiedades, infraestructura, actividades económicas son directa y adversamente afectadas por accidentes industriales de gran magnitud, incidentes de contaminación densa, accidentes químicos, biológicos, nucleares, aéreos, incendios masivos y explosiones.

El término de desastre puede ser expresado como catástrofe o emergencia química cuyos factores normales de vida (o ecosistemas) han sido interrumpidos y se requieren extraordinarias interacciones de emergencias para salvar la vida humana y/o el medio ambiente.

Emergencias: Son eventos adversos de similares características a los desastres, con la diferencia que, la comunidad afectada está en la capacidad de controlarlas por sus propios medios. Gálvez, (2001)

El concepto de emergencia se asocia a accidentes vinculados a las entidades que pueden conllevar a escapes de sustancias tóxicas, explosiones o incendios de grandes proporciones. Situación anormal generada con posibilidades de daños graves a las personas, instalaciones y medio ambiente, que provoca la necesidad de medidas especiales dentro y fuera del lugar donde se origina, según Rodríguez, (2004); Hernández, (2009).

Hay dos tipos de emergencias:

- Emergencias de origen natural: Sismos, aluviones, inundaciones, erupciones volcánicas, tsunamis, otros.
- Emergencias de origen humano: Incendios, atentados explosivos, atentados incendiarios, robo con asalto, otros.

En función de las necesidades de intervención derivadas de las características del accidente y de sus consecuencias ya producidas o previsibles, y de los medios de intervención disponibles, se establecen las siguientes situaciones de emergencia:

Emergencia tipo 1: Generalmente son accidentes de tránsito o industriales, donde se esperan hasta 30 víctimas, de las cuales se calcula hospitalizar a un 20 %, es decir 6 pacientes. Se debe informar al personal e identificar a los responsables del servicio para que realicen las funciones de acuerdo con las tarjetas de acción correspondientes.

Emergencia tipo 2: Accidentes masivos como accidentes carreteros, ferroviarios o industriales, donde se esperan entre 30 y 100 lesionados y hasta 20 hospitalizados. Se deben identificar a los responsables de los servicios de atención médica que apoyan al de urgencias, para que realicen sus funciones de acuerdo a las tarjetas de acción correspondientes.

Emergencia tipo 3: Corresponde a un desastre. Se espera entre 100 y 500 víctimas y 100 hospitalizaciones. Requiere el apoyo de toda la región e inclusive del País entero. Como acciones se incluyen las de fase I y II. Los responsables de todos los servicios y departamentos de la unidad acudirán al control de mando para recibir instrucciones e informar de inmediato a su personal las actividades a seguir.

Evaluación de riesgos: Técnica para determinar los riesgos asociados a un determinado puesto de trabajo, al uso de algún producto o servicio industrial, o al funcionamiento de una instalación industrial. Zagal, (1996); PNUMA/IPCS, (1999); Rodríguez, (2006); Hernández, (2009).

La evaluación de riesgos laborales es un proceso destinado a identificar y localizar los posibles riesgos para la seguridad y salud de los trabajadores y a realizar una valoración de los mismos que permita priorizar su corrección.

Plan de prevención: Conjunto de medidas tomadas para evitar los riesgos identificados en la evaluación correspondiente, erradicando algunos de ellos por el propio diseño o funcionamiento del sistema en cuestión, y disminuyendo la probabilidad de otros tanto como sea razonablemente posible. Zagal, (1996); PNUMA/IPCS, (1999); Rodríguez, (2006); Castro, (2012)

Según Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres, (2009) un plan de prevención es el conjunto de actividades orientadas a la conservación de la salud de las personas y de la integridad de los bienes en orden a evitar que se produzcan daños significativos.

Propagación de accidente: Secuencia accidental de sucesos en los cuales a partir de una causa, no siempre relevante ni de entidad suficiente, se llega a efectos que pueden ser muy graves. Zagal, (1996); PNUMA/IPCS, (1999); Rodríguez, (2006); Castro, (2012)

Mitigación de consecuencias: Conjunto de acciones tomadas preventivamente o adoptadas durante la emergencia, con las cuales se evita la propagación amplificada del accidente, acotándose los daños. (PNUMA/IPCS, 1999), (Rodríguez, 2006), (Castro, 2012)

Plan de emergencia: Es el ordenamiento de disposiciones, acciones y elementos necesarios propios de cada establecimiento y de su respectivo entorno inmediato, articulados de manera tal de dar una respuesta eficaz frente a una emergencia.

Según PNUMA/IPCS (1999), Rodríguez (2006), un plan de emergencia es el conjunto de disposiciones para poder reaccionar ante situaciones accidentales o imprevistas. Existen planes de emergencia interiores, que solo involucran a las instalaciones y al personal profesionalmente expuesto, y planes exteriores que afectan a la población circundante o al medio ambiente, y en los cuales ha de intervenir la autoridad pública y protección civil.

Protección civil: Servicio público, generalmente gubernativo, destinado a actuar en emergencias de variado tipo, incluidas las de origen industrial.

Según el Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres (2009) la protección civil es un grupo de personas que se les prepara física y mentalmente para desempeñar ciertas funciones, y a este grupo lo conforman personas voluntarias que deseen participar en toda la preparación que se le necesite.

En este epígrafe se ofrecieron las definiciones de peligro, accidentes, emergencia, desastres, así como la terminología usada en el ámbito industrial para los daños, peligros, probabilidad de sucesos, plan de prevención, propagación de accidentes, mitigación de consecuencias, plan de emergencia, entre otros conceptos.

1.3 Definición de incendio, explosión, Fire Ball, BLEVE y Jet Fire.

➤ **Incendio:**

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

El incendio es un proceso físico-químico en el cual se produce una reacción de oxidación rápida, acompañada de desprendimiento de calor, luz, humo y productos de la combustión, desarrollado sin control y que ocasiona pérdidas materiales. Son averías de primera categoría incendios de grandes, regulares y medianas porciones según la clasificación operativa de la agencia de protección contra incendios que ocurran dentro de los límites de la empresa o fuera de ellas cuando estén involucrados sus medios de transportación y distribución de sustancias peligrosas.

➤ **Explosión:**

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. Casal, (2001)

Según Welss, (1997) una explosión es un proceso que involucra la ola de explosión que resulta de un lanzamiento rápido de energía.

Para Aboud, (2008) la explosión es un lanzamiento repentino y violento de energía.

Braña y Santamaría, (1994) plantean que en una explosión se produce una gran cantidad de energía en un espacio de tiempo muy corto. Existen dos clases principales de explosiones:

- ❖ explosión física, en la que la energía necesaria para que se produzca procede de un fenómeno físico. El caso típico es la liberación súbita de la energía presente en un gas comprimido. Es necesario que la sustancia se encuentre en un recipiente hermético.
- ❖ explosión química, en la que la energía procede de una reacción química y no es necesario que esté confinada.

Para Aguirre, (1996) la explosión es una combustión rápida y violenta que genera energía manifestada en forma de gas, de calor o de ambas.

Autores como *Sherritt Power Energas. S.A*, (2007) plantean que una explosión es un proceso simple que involucra la producción de una onda de sobrepresión, resultante de una generación rápida de energía. La onda de sobrepresión ejerce una fuerza de corta duración sobre los objetos en su trayectoria y decrece en intensidad cuando se aleja de la ubicación de la explosión.

➤ **Bola de fuego(Fire Ball):**

Incendio que quema lo suficientemente rápido para que la masa quemada se eleve en el aire como una nube o bola.

Este tipo de evento catastrófico puede ocurrir como consecuencia del escape masivo de una nube de gas inflamable, o gas licuado presurizado, en circunstancias en las que se produce la ignición de la masa de gas. (*Sherritt Power Energas. S.A*, 2007)

Autores como Aboud, (2008) afirman que la expansión de los gases calientes producidos por la combustión, origina una nube típica en forma de hongo. En este tipo de eventos no se producen sobrepresiones apreciables y su duración normalmente es reducida.

➤ **BLEVE:** Formada por las iniciales de boiling liquid expanding vapor explosion (explosión del vapor en expansión de un líquido hirviendo).

Una explosión de este tipo posee una emisión de calor radiante intenso en un intervalo relativamente breve de tiempo. El fenómeno puede producirse dentro de un recipiente o depósito en el que se mantenga un gas licuado por encima de su punto de ebullición atmosférico. *IPCS*, (1990)

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. *Casal*, (2001).

El BLEVE es un accidente que sucede con cierta periodicidad: las sustancias que lo pueden producir (butano, propano, cloruro de vinilo, cloro, etc.) son relativamente comunes en la

industria, y abundan las instalaciones susceptibles de sufrirlo (depósitos, cisternas). Por otra parte, de vez en cuando sucede durante el transporte, ya sea por carretera o por tren, con las connotaciones especiales que esto conlleva. El origen puede ser diverso (reacción fuera de control, colisión, etc.), pero una de las causas más frecuentes es la acción del fuego sobre un recipiente. Casal, (2001)

El origen de este tipo de evento puede ser diverso (reacción fuera de control, colisión, etcétera.), pero una de las causas más frecuentes es la acción del fuego sobre un recipiente. Por otra parte, de vez en cuando sucede durante el transporte, ya sea por carretera o por tren. Es un accidente que ocurre con cierta regularidad: las sustancias que lo pueden producir (butano, propano, cloruro de vinilo, cloro, etcétera.) son relativamente habituales en la industria, y abundan las instalaciones susceptibles de sufrirlo (depósitos, cisternas). Aboud, (2008)

➤ **Jet Fire:**

Este tipo de incendio (*Jet Fire*) 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. Quizá la 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, (1997) 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 en 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.

1.4 Clasificación toxicológica de las sustancias por sus efectos sobre el organismo.

Por su elevado interés para la prevención de enfermedades relacionadas con la exposición a preparados y sustancias peligrosas merece la pena destacar los criterios de clasificación según los efectos específicos sobre la salud humana. (Casal, J. et al. 2001; Duffus, 1996). Ver en el Anexo #1 la peligrosidad de los productos químicos y su nomenclatura.

Estos efectos se refieren a:

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

➤ **Toxicidad aguda:**

Se refiere a los efectos perjudiciales que pueden derivar de una sola exposición o de múltiples exposiciones a una sustancia en un plazo de 24 horas. La exposición se puede producir por vía oral, cutánea o por inhalación. La valoración del potencial de toxicidad aguda de un producto químico será necesaria para determinar los efectos perjudiciales para la salud que pueden derivarse de una exposición accidental o deliberada a corto plazo: tipos de efectos tóxicos, momento de su aparición, duración y gravedad, relaciones dosis-efecto, y diferencias de respuesta en ambos sexos. Los efectos perjudiciales investigados pueden ser signos clínicos de toxicidad, variaciones anormales de peso y/o alteraciones patológicas en órganos y tejidos, que, en algunos casos, pueden causar la muerte. (Reglamento REACH 1907/2006)

Según autores como Duffus, (1996); Worth, (1996); Rodríguez (2006); Hernández, (2009); Acosta, (2008) la toxicidad aguda se puede definir como el conjunto de efectos adversos que se producen dentro de un plazo corto (hasta 14 días) después de la administración de una sola dosis (o después de la exposición a determinada concentración) de una sustancia de prueba o después de dosis múltiples (exposiciones), generalmente en un lapso de 24 horas. La vía más común es la oral, pero este tipo de efectos también se puede estudiar mediante la absorción a través de la piel o por inhalación. Por lo general, se cuantifica al medir la concentración o dosis letal media (DL50

o CL50), es decir, la dosis o concentración derivada estadísticamente de un producto químico capaz de matar a 50% de los organismos de determinada población en condiciones definidas.

➤ **Irritación:**

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

-Irritación de los ojos:

Para la prueba de irritación de los ojos, se introduce la sustancia en el ojo (0,1mL o 100mg). La sustancia se clasifica como irritante si se producen lesiones oculares significativas en un lapso de 72 horas después de la exposición y éstas persisten durante 24 horas por lo menos. IUPAC (1993); Acosta, (2008).

-Irritación del sistema respiratorio:

La evidencia de una grave irritación en el sistema respiratorio generalmente se basa en la observación en seres humanos y en pruebas con animales y puede incluir datos obtenidos en una prueba general de toxicidad; por ejemplo, los datos histopatológicos del sistema respiratorio. IUPAC (1993); Acosta, (2008).

➤ **Corrosión:**

Una sustancia se considera corrosiva cuando al aplicarse a la piel animal intacta y sana, destruye totalmente el tejido cutáneo al menos en un animal durante la prueba de irritación de la piel. Es probable que no se requieran pruebas si se puede predecir el resultado; por ejemplo, si se usa un ácido fuerte (pH = 2) o sumamente alcalino (pH = 11,5). Acosta, (2008)

➤ **Carcinogenicidad:**

Aunque los estudios epidemiológicos han sido la principal fuente de información sobre los carcinógenos humanos potenciales y presentan la ventaja de estudiar la especie de principal interés, el ser humano, muchas veces presentan problemas porque la exposición está mal definida y porque hay variables de confusión que pueden distorsionar cualquier asociación estadística. Aunque muchos carcinógenos son mutágenos y se consideran causantes de mutaciones que provocan cáncer (carcinógenos genotóxicos), otros no parecen serlo y actúan con mecanismos

diferentes (carcinógenos no genotóxicos o epigenéticos). European Commission (1996); Acosta, (2008).

➤ **Sustancias mutagénicas:**

Sustancias y preparados que por inhalación, ingestión o penetración cutánea pueden producir alteraciones genéticas hereditarias o pueden aumentar su frecuencia. (Sección Sindical del Sindicato, 2003)

Se clasifican en 3 categorías:

-Primera categoría: sustancias y preparados que se sabe ciertamente que son mutagénicos para la especie humana, ya que se dispone de pruebas suficientes a partir de estudios epidemiológicos que demuestran una relación de causa/efecto entre la exposición de seres humanos a ellos y la aparición de alteraciones genéticas hereditarias.

-Segunda categoría: sustancias y preparadas que pueden considerarse como mutagénicos para la especie humana, ya que se dispone de suficientes elementos de juicio para suponer que la exposición de seres humanos a los mismos puede producir alteraciones genéticas hereditarias, basados generalmente en estudios apropiados en animales y otras informaciones válidas.

-Tercera categoría: sustancias y preparados cuyos posibles efectos mutagénicos en la especie humana son preocupantes, siendo insuficientes las investigaciones.

➤ **Toxicidad para la reproducción:**

Según autores como Faustman, (1996); Omen, (1996); Acosta, (2008), este término incluye la deficiencia de las funciones o capacidad de reproducción masculina y femenina así como la inducción de efectos dañinos no hereditarios a la progenie.

Se clasifican en tres categorías (NTP 542, 1995):

-Primera categoría: sustancias y preparados de los que se sabe ciertamente, a partir de datos epidemiológicos, que perjudican la fertilidad de los seres humanos, (efectos negativos sobre la libido, comportamiento sexual, espermatogénesis u ovogénesis, actividad hormonal o respuesta fisiológica que puedan interferir la capacidad de fertilizar, la misma fertilización, el desarrollo del huevo fecundado hasta la fase de implantación, incluyendo esta misma), puesto que se dispone de suficientes pruebas para establecer una relación entre exposición y problemas de fertilidad, y también aquellos de los que se sabe ciertamente, a través de datos epidemiológicos, que producen toxicidad para el desarrollo de seres humanos, es decir cualquier efecto que interfiera el desarrollo normal tanto antes como después del nacimiento, (incluye efectos

embriotóxicos/fetotóxicos y teratogénicos, entre otros), ya que existen suficientes pruebas para establecer una relación entre la exposición y la posterior aparición de efectos tóxicos para el desarrollo de la descendencia.

-Segunda categoría: sustancias y preparados que pueden considerarse como perjudiciales para la fertilidad de los seres humanos y aquellos que pueden considerarse como tóxicos para el desarrollo de los seres humanos, ya que se dispone de datos suficientes para suponerlo firmemente para la exposición de seres humanos a partir de investigaciones con animales sin que se trate de consecuencias secundarias inespecíficas de otros efectos tóxicos en caso de que los hubiere.

-Tercera categoría: sustancias y preparados preocupantes para las fertilidades humanas y preocupantes para los seres humanos por sus posibles efectos tóxicos para el desarrollo, ya que se poseen datos para ello con experimentación con animales pero no son suficientes para su clasificación en la segunda categoría.

➤ **Sensibilización:**

La sensibilización comprende dos fases: en la primera exposición se desarrolla el proceso de sensibilización como respuesta al primer contacto con el agente alérgeno. La segunda es el desencadenamiento, es decir, la producción de una respuesta alérgica tras la exposición al alérgeno del individuo previamente sensibilizado. La sensibilización se produce en la mayoría de los casos mediante un mecanismo inmunológico. Las reacciones alérgicas pueden llegar a ser muy graves. Sus manifestaciones más comunes, dependiendo de la vía de exposición, son: rinitis, asma, alveolitis, bronquitis, eczema de contacto, urticaria de contacto y blefaroconjuntivitis.

De acuerdo con autores como Klaassen, (1996); Acosta, (2008) este término se aplica a los procesos de inmunización que hacen que los individuos se tornen hipersensibles a sustancias como el polen, la caspa o compuestos químicos que les hacen desarrollar una alergia potencialmente dañina al estar expuestos a la sustancia sensibilizadora (alérgeno). Esta sensibilización puede surgir tanto por material inhalado como por contacto cutáneo.

➤ **Toxicidad por dosis repetida:**

La dosis repetida por un período prolongado de una sustancia que probablemente no tenga ningún efecto con una sola exposición puede causar un grave trastorno funcional o cambio morfológico. Se realizan pruebas de toxicidad de dosis repetidas o subagudas que se prolongan por más de 14 ó

28 días para obtener información sobre la toxicidad de una sustancia química. Klaassen, (1996); Acosta, (2008)

Este término se refiere a la capacidad que tienen algunas sustancias para modificar el material genético en el núcleo de las células de modo que ocurran cambios durante la división de éstas. Cuando las mutaciones se producen en las células germinales – espermatozoides y óvulos – existe la posibilidad de que el embrión o feto muera o de que las mutaciones sean transmitidas a generaciones futuras. Cuando las mutaciones se producen en otro tipo de células, pueden ocasionar la muerte de ellas o la transmisión del defecto genético a otras células del mismo tejido. Se dispone de varias pruebas tanto *in vivo* como *in vitro* para detectar la mutagenicidad. En algunos casos las alteraciones genéticas pueden ser visibles a través de un microscopio. Otra técnica consiste en el ensayo letal dominante, que usa la incompatibilidad de algunas mutaciones con el desarrollo normal. European Commission (1996), Acosta, (2008).

En este epígrafe se conocieron la clasificación que se les da a las sustancias peligrosas por su efectos sobre el organismo, entre estas pueden estar: las sustancias de toxicidad aguda, sustancias carcinogénicas, sustancias irritantes que pueden afectar los ojos, el sistema respiratorio y a la piel; en cambio las mutagénicas y las sustancias tóxicas para la reproducción se clasifican en solo 3 categorías.

1.5 Gestión de la prevención de los riesgos químicos.

Todas aquellas sustancias químicas inorgánicas u orgánicas de diferentes características y fórmulas que, presentándose de forma líquida, sólida, gaseosa, en aerosoles, nieblas, vapores, etc. Pueden penetrar el organismo y provocar efectos tóxicos, irritantes y sensibilizadores, cancerígenos, mutágenos e influir sobre la función reproductora; son las que provocan los riesgos químicos. Badia, (2004).

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

1. Identificación del peligro. ¿Cuáles son las sustancias que interesa evaluar y cuales sus efectos adversos?
2. Relación entre dosis (concentración)- respuesta (efecto). ¿Cuál es la relación entre la dosis y la gravedad o frecuencia del efecto (relaciones entre dosis – efecto y dosis respuesta respectivamente)?

3. Evaluación de la exposición. ¿Cuál es la intensidad y duración o frecuencia de la exposición de un agente?
4. Caracterización del riesgo. ¿Cómo se puede cuantificar el riesgo a partir de los datos anteriores?

En la actualidad no se dispone de información rigurosa sobre la morbilidad atribuible a los productos químicos. Esta información no se recoge de forma integrada y exhaustiva, entre otras razones por la dificultad de relacionar enfermedades o síntomas con la exposición a numerosos factores medioambientales y por la dificultad de cuantificar el efecto simultáneo de los estilos de vida (tabaco, alcohol, alimentación, etc.). Covello (1993); Merkhofer (1993)

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

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

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

En el mundo con el avance de la tecnología aumenta el nivel de riesgo y peligro, por ello, el correcto uso de las herramientas de gestión conduce a la optimización de los servicios evitándose tanto las pérdidas de vidas humanas como material. La autora de esta tesis está de acuerdo con lo

que plantea el (PNUMA/IPCS, 1999) cuando se refiere que para prevenir el riesgo químico deben realizarse 4 etapas inviolables.

- 1- Identificación del peligro.
- 2- Relación entre dosis (concentración)- respuesta (efecto).
- 3- Evaluación de la exposición.
- 4- Caracterización del riesgo.

1.6 La dispersión de contaminantes químicos en la atmósfera.

Casal, et al (2001), plantea que el término dispersión es utilizado en la modelación de accidentes para describir la evolución de una nube de gas tóxica o inflamable en la atmósfera. La dispersión de una nube de gas sigue una difusión, o transporte de su masa, producida por el movimiento molecular del aire mientras se va diluyendo a medida que va disminuyendo su concentración, a causa de la entrada de nuevas moléculas de aire dentro de la nube. La dispersión incluye el desplazamiento de la masa en la dirección del viento y su expansión en sentido transversal al viento, tanto vertical como horizontal. En el caso de gases pesados, la dispersión se produce incluso en dirección contraria al viento.

Las distintas variables meteorológicas afectan en mayor o menor grado la dispersión atmosférica de contaminantes. Así pues, la velocidad y la dirección del viento, junto con la estabilidad atmosférica, condicionan especialmente la dispersión de un contaminante; la humedad y la Temperatura tienen efectos menores, mientras que la inversión térmica influye en casos concretos. (Casal, *et. al*, 2001) Todas las variables meteorológicas presentan una gran variabilidad estacional y diaria. Para posibilitar la modelización de la dispersión de manera representativa, se suelen tomar valores medios específicos del área de estudio. A continuación se describen las variables meteorológicas principales que afectan a la dispersión de contaminantes:

➤ **Influencia del viento:**

Según Casal, et al (2001) el viento tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. El viento influye también en la estabilidad atmosférica, que es el otro factor principal para determinar la dispersión de gases. La información sobre el viento de una determinada zona geográfica, se reúne en la denominada “rosa de los vientos”. La rosa de los vientos es una representación gráfica de la frecuencia de los vientos según su dirección y velocidad. Las direcciones se suelen dar en 8 o 16 sectores de 45°o

223”respectivamente, denominados según las direcciones cardinales N, NE, E, SE, S, etc., o bien N, NNE, NE, ENE, E, etc. Estas direcciones indican de donde procede el viento y otros datos respecto al viento se suelen dar tabulados.

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

➤ **Estabilidad atmosférica:**

La estabilidad atmosférica es una variable que se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante; en realidad, lo que representa es el grado de turbulencia existente en un momento determinado. Se ha establecido una clasificación en categorías (denominadas a menudo “categorías de Pasquill”), tal como se muestran en la tabla 1.1, según Casal, et al (2001)

Tabla 1.1 Definición del tipo de estabilidad atmosférica.

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

➤ **La temperatura y la humedad relativa:**

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

➤ **La inversión térmica:**

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

1.7 Modelos de dispersión.

Según Casal *et. al*, (2001), los modelos de dispersión son modelos matemáticos (conjuntos de ecuaciones) que permiten prever, dadas unas condiciones iniciales (básicamente el escenario accidental y las condiciones meteorológicas) y según las características físicas y químicas del producto, la evolución de una nube contaminante en función de la posición y del tiempo.

Un primer paso para el cálculo de la dispersión consiste en establecer las condiciones de escape de producto, especialmente su duración en el tiempo.

Según el tiempo de escape de producto las emisiones pueden clasificarse en:

- Emisión instantánea: cuando el tiempo necesario para que la nube llegue a un punto determinado es mayor que el tiempo de descarga del producto. Un ejemplo puede ser la explosión de un recipiente que contiene gas a presión.
- Emisión continua: cuando el tiempo de emisión es mayor que el tiempo necesario para que la nube alcance un determinado punto. Un ejemplo sería el penacho de una chimenea. Casal, *et. al*, (2001)

Los modelos que habitualmente se utilizan para la estimación de la dispersión de gases que proceden de accidentes químicos se clasifican en dos grandes grupos:

- Modelos Gaussiano para gases neutros: Los modelos para gases neutros o gaussiano se utilizan para describir la dispersión de nubes de gases con una densidad similar a la del aire, ya sea porque la masa molecular del contaminante es similar a la del aire, o bien porque está suficientemente diluído en el momento del escape. Este último caso es el más frecuente en los contaminantes presentes en las humas de combustión (SO₂, NO₂, etc.).

Los modelos para gases neutros se basan en las siguientes hipótesis, simplificadoras:

- Origen puntual del escape.
- Velocidad de salida del producto inferior a 20.40 ms-t. Velocidades mayores condicionan el movimiento de la nube.

- Falta de efectos gravitatorios sobre el producto.
- Falta de reactividad del producto con el aire.
- Condiciones meteorológicas constantes en toda el área afectada por el escape.
- Existencia de viento ($U > 1$ ms-t)
- Características uniformes del terreno (rugosidad) en toda el área afectada.
- Ausencia de obstáculos (montañas, entre otros) y terreno sin pendiente.

Los modelos suponen que la nube se extiende transportada por el viento y se diluye según el modelo de la campana de Gauss en función de la distancia hasta el punto de escape (emisión instantánea) o hasta el eje de la nube (emisión continua). Casal, *et. al*, (2001)

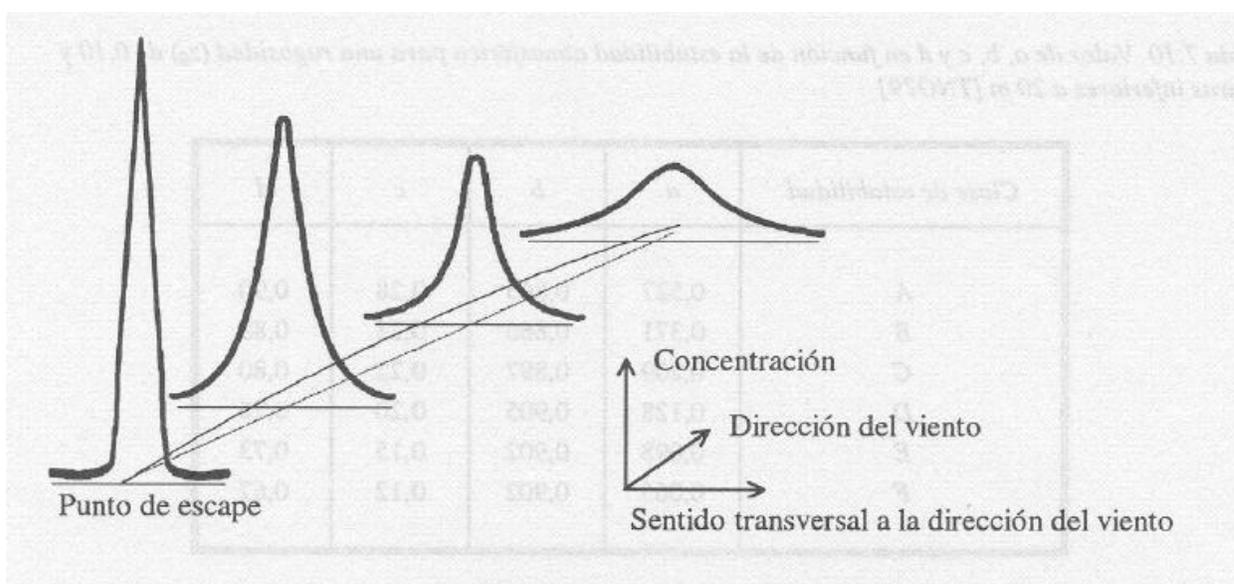


Fig. 1.1 Dispersión en forma de campana de Gauss.

(Fuente: Casal, *et. al*, 2001)

Modelos para gases pesados: La dispersión atmosférica de un producto tóxico o inflamable, principalmente en los primeros momentos, puede estar influida por la densidad del vapor o del gas que se escapa. Una masa de gas experimenta las mismas fuerzas de impulso que determinan que un globo ascienda o que el aire frío se acumule en las capas bajas atmosféricas. Por la misma razón, los vapores

y los gases con densidades superiores a la del aire tienen tendencia a caer y dispersarse a ras de suelo mientras la nube no alcance, mediante su dilución con el aire, densidades cercanas al mismo. De la misma manera, estos vapores tienen tendencia a acumularse en las zonas bajas

(valles, hondonadas, drenajes, fosas, cubetas, entre otros), con el riesgo de intoxicación o explosión posterior a los escapes de gases. Casal, *et. al*, (2001)

Según Casal *et. al*, (2001) los parámetros que determinan que una sustancia en fase vapor se comporte como un gas pesado son:

- La masa molecular.
- La temperatura.
- Los aerosoles.
- Las reacciones químicas.

En conclusión, si la masa de vapor o gas que se dispersa cumple cualquiera de los aspectos comentados, desde el punto de vista macroscópico tiene una densidad superior a la del aire. Esto determina que su movimiento sea de descenso hacia el suelo y posteriormente se extienda lateralmente (aplastamiento), dispersándose. Esta evolución de la nube se puede dividir en tres etapas diferenciadas. Las etapas de dispersión son claramente identificables cuando se trata de un escape instantáneo: Casal, *et. al*, (2001)

-Fase de flotabilidad: La nube formada (generalmente asimilada a un cilindro) cae por efecto de la gravedad y se extiende en todas direcciones mientras se reduce su altura. El tiempo de duración de este fenómeno es de solo algunos segundos.

-Fase de dispersión estable y estratificada: La nube se dispersa a causa del efecto del viento que, como consecuencia de su alta densidad, forma un flujo estratificado (adherido al suelo) que reduce la entrada de aire y la dilución de la nube. Las ecuaciones empíricas que modelizan el comportamiento fluidodinámico del gas en esta fase y en la de la entrada de aire son de una gran complejidad.

-Fase de dispersión pasiva, neutra o gaussiana: La nube en su dispersión llega a alcanzar una densidad y una temperatura similares a las del aire de su alrededor. Las ecuaciones que se presentaban en la dispersión de gases neutros deben ser, sin embargo, corregidas convenientemente al objeto de tener en cuenta las dimensiones de la nube en el estado presente, inicial ahora para la dispersión gaussiana.

En el epígrafe se muestra los modelos que se utilizan para la estimación de la dispersión de los gases, que estos se clasifican en: modelo gaussiano para gases neutros que suponen que la nube se extiende transportada por el viento y modelo para gases pesados donde puede estar influenciado por la densidad del vapor o del gas que se escapa.

1.8 Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP).

El análisis de peligros y operabilidad (HAZard and OPerability) Analysis, HAZOP (Wells, 1997), conocido también como análisis de riesgo y operabilidad o análisis funcional de operabilidad (AFO) o análisis operativo (AO), 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.

La definición dada por la Chemical Industry Association en su guía es:

“La aplicación de un examen crítico, formal y sistemático a un proceso o proyecto de ingeniería de nueva instalación, para evaluar el riesgo potencial de la operación o funcionamiento incorrecto de los componentes individuales de los equipos, y los consiguientes efectos sobre la instalación como conjunto.”

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.

La técnica se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. La identificación de estas desviaciones se realiza mediante una metodología rigurosa y sistemática. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias, según (Wells, 1997).

1.8.1 Organización del estudio

Los análisis HAZOP según (Wells, 1997) son en general, estudios multidisciplinarios. La ejecución del estudio HAZOP requiere un conocimiento detallado del sistema que se quiere auditar y del protocolo de análisis. Esta característica condiciona que el trabajo se realice en equipo, donde debe haber representantes de las distintas áreas de conocimiento implicadas en el proceso. Los miembros de los equipos de trabajo son de dos tipos: los técnicos y los analistas de riesgo.

Los técnicos implicados en el estudio soportan el apartado técnico. Los componentes deben ser especialistas en las áreas de conocimiento implicadas en el estudio; es aconsejable que sean

verdaderos expertos. Las áreas de conocimiento implicadas en cada estudio pueden variar substancialmente en función del objeto del mismo (refinarias, plantas químicas, centrales eléctricas, centrales nucleares, parques de almacenamiento de combustible, etc.) y del objetivo del estudio que se quiere desarrollar: diseño de nuevas instalaciones, revisión de instalaciones en funcionamiento, modificaciones, etc. Es recomendable que el número de especialistas que elaboran el estudio sea entre tres y seis; grupos menores pueden presentar una falta de conocimiento en determinados campos y grupos mayores suelen tener problemas organizativos.

Los analistas de riesgo deben dar soporte logístico al estudio, es decir, dirigir, moderar y documentar el análisis, Los analistas deben ser especialistas en aplicar la metodología HAZOP. Como tareas previas al desarrollo del HAZOP según (Wells, 1997) tienen que definir el objetivo y el alcance del estudio, seleccionar el equipo técnico y formarlo en el método de análisis. Además, los analistas deben tener la formación necesaria para entender y controlar la discusión de forma satisfactoria.

El estudio se realiza en diversas sesiones de trabajo, de una duración no superior a dos o tres horas, donde la carga de trabajo tiene que ser racional para motivar y estimular la creatividad y la imaginación (brainstorming) del equipo de estudio y garantizar así la utilidad de los resultados obtenidos.

1.8.2 Requisitos y limitaciones.

Según Montiel, (2001) el método de análisis HAZOP presupone tres hipótesis:

- 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.

1.8.3 Resultados y aplicabilidad.

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. Estas medidas se dan en forma de

cambios físicos en las instalaciones, modificaciones de protocolos de operación o recomendaciones de estudios posteriores para evaluar con más detalle los problemas identificados o la conveniencia de las modificaciones propuestas. 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. (Casal, 2001)

1.9 Determinación de áreas peligrosas. El Software ALOHA

Como se menciona en el epígrafe anterior el HAZOP solo da un conjunto de situaciones peligrosas y las vías de solución, pero no permite de ocurrir el riesgo, cuantificar cual sería el área afectada. El software ALOHA de sus siglas Areal Locations of Hazardous Atmospheres, es decir, localización de áreas de atmósferas peligrosas, permite definir las áreas de atmósferas peligrosas para diferentes tipos de escenarios de accidentes, información con la cual pueden ser confeccionados los planes de emergencia para la propia industria y para los ciudadanos. (Manual de usuario del software ALOHA, 2007)

1.10 Conclusiones parciales del capítulo.

1. Se definieron que son los accidentes, peligros, daños, mitigación, desastres, así como las diferentes situaciones de emergencia, entre otros.
2. Se conoció que en la dispersión de los contaminantes químicos en la atmósfera los parámetros que más influyen son: la velocidad del viento, la temperatura, la humedad relativa y la estabilidad atmosférica.
3. Se identificaron los modelos para la estimación de la dispersión de gases que proceden de accidentes químicos, estos se clasifican en dos grandes grupos: Modelos para gases pesados o Modelo Gaussiano para gases neutros.
4. La literatura especializada en la temática ofrece como una de las principales técnicas para la evaluación de riesgos en planta químicas: las técnicas HAZOP.

Capítulo II: Materiales y Métodos

En este capítulo se presenta una breve descripción del proceso que se utilizará como Caso de Estudio, una explicación detallada de la técnica HAZOP, además de una explicación de las sustancias involucradas en el proceso, así como la metodología a emplear y una caracterización del software ALOHA.

2.1 Descripción detallada del proceso.

El proceso comienza con la entrada del gas crudo o sucio proveniente de los centros colectores hacia la planta de gas Energas S.A Varadero con un flujo aproximado de 37500 m³/h, a una presión máxima de 253.3 KPa y a una temperatura aproximada a la ambiente.

➤ Sistema de Entrada.

Este gas crudo entra a un separador (INLET- entrada), el cual tiene como objetivo principal eliminar los arrastres de hidrocarburos líquidos y materias sólidas que pueda contener el gas de entrada (piedras, óxido, entre otros), en caso de un bloqueo o una parada de emergencia, una válvula de control, desvía todo el gas de la entrada al *Flare*. El gas desde el separador de entrada va al Filtro Coaleser de Entrada, para quitar cualquier rastro final de líquidos y sólidos del gas.

➤ Unidad de Compresión.

El gas que sale del separador va hacia los compresores cuyo objetivo principal es comprimir el gas con el fin de que se obtengan los parámetros de trabajo en las unidades de tratamiento, o sea, una presión de 3040 KPa y una temperatura de 40°C. Para comprimir el gas la planta cuenta con 4 compresores reciprocantes: 1 mecánico y 3 eléctricos. Si la presión final de la descarga excede las 4560 KPa, una válvula de escape desvía toda la descarga al *Flare*.

➤ Unidad de Endulzamiento.

La Unidad de Endulzamiento tiene como principales objetivos:

1. Extraer el $H_2S_{(g)}$ de la corriente de gas hasta reducir su contenido.
2. Producir una corriente de gas ácido con la máxima concentración de $H_2S_{(g)}$ y mínimas impurezas para alimentar la unidad de recuperación de azufre y obtener un azufre de alta calidad.
3. Mantener la solución de amina en óptimas condiciones de pureza para evitar problemas operacionales, de corrosión y costo de operación. Esta unidad usa la amina MDEA,

metildietanolamina (50 % de fortaleza o lo que es lo mismo 50% de concentración por ciento en masa, para lograr esto se mezcla la amina con agua desmineralizada, o sea, agua tratada).

El gas crudo, o sea, el gas que posee ácido sulfhídrico y dióxido de carbono entra a la unidad de endulzamiento a una razón de 20000 m³/h, con una presión de 3187 kPa y una temperatura de 50 °C. La unidad realiza la separación del sulfuro de hidrógeno que trae consigo este gas para la obtención de dos corrientes: una de gas dulce, libre de sulfuro de hidrógeno, que se pueda utilizar como combustible y una corriente de sulfuro de hidrógeno que se pueda utilizar como materia prima fundamental en la obtención del azufre.

Para despojar del gas el ácido sulfhídrico y dióxido de carbono que trae en grandes concentraciones, se usa la amina MDEA como sustancia absorbente, la cual se pone en contacto con el gas en un proceso de transferencia de masa y absorbe el H₂S y el CO₂. De ahí se obtiene el gas dulce que es enviado a la unidad de Refrigeración, la mezcla de amina y el ácido sulfhídrico, llamada amina rica, va hacia la regeneradora de amina donde su función como su nombre lo indica es regenerar la amina para volverla a utilizar en la unidad, esto ocurre en la unidad despojadora a altas temperaturas (123 °C) y bajas presiones (50.66 kPa) donde se le retira a la amina el gas sulfhídrico y el CO_{2(g)}, ya limpia (amina pobre) es recirculada en la unidad y el gas ácido, como se llama a la mezcla de H₂S_(g) y CO_{2(g)} va hacia la unidad de Azufre donde se obtiene el azufre, y el vapor que se produce se utiliza en la unidad de Endulzamiento y en la unidad de Destilación por fraccionamiento.

➤ Regeneración de amina.

La amina rica en ácido sulfhídrico, pasa a un intercambiador de calor para aumentar su temperatura y de esa forma se favorece la destilación del H₂S_(g).

En la columna de destilación, la solución de amina rica entra por el tope y por el fondo lo que se obtiene es la solución de amina pobre. En este equipo se ponen en contacto la amina rica en ácido sulfhídrico, previamente calentada, con los vapores de sulfuro de hidrógeno que salen del rehervidor debido a que esta solución, al llegar al fondo de la columna, va al rehervidor y al calentarse se libera de la amina el sulfuro de hidrógeno en forma de vapor, seguidamente estos vapores comienzan a ascender por los platos de la columna poniéndose en contacto en contracorriente con la solución de amina rica.

Las corrientes resultantes de la operación de la destilación son: solución de amina pobre o libre de (H₂S_(g)) y vapores de sulfuro de hidrógeno que van a la planta de azufre.

La amina pobre o amina libre de ($\text{H}_2\text{S}_{(g)}$) resultante de la operación de destilación se enfría intercambiando calor con la amina rica procedente de la columna de absorción. Posteriormente va a un tanque y de este pasa a un intercambiador de calor donde disminuye su temperatura utilizando agua como medio de enfriamiento y pasa a un mezclador para reajustar la concentración 50(% m/m) de amina y 50(% m/m) de agua para poder reincorporarla a la columna de absorción.

➤ Unidad de Refrigeración.

El gas dulce (rico en hidrocarburos C1-C7 en concentraciones aproximadas de 78% de metano, 12 % de propano y butano, 2% de etano y lo que resta de hexano, heptano y dióxido de carbono) proveniente de la unidad de Endulzamiento, entra a la unidad de Refrigeración con el objetivo de separar el metano que se utiliza como combustible en las turbinas generadoras de electricidad, la mezcla agua – metanol y los hidrocarburos líquidos C_2+ que se utilizarán en la unidad de Fraccionamiento para la obtención de gas licuado y nafta.

El gas dulce con una presión de 3040 kPa y una temperatura de 64 °C se pone en contacto con una mezcla de agua y metanol (anticoagulante) a 0,851 m³/ h y -40°C, en una torre de contacto para evitar que los hidratos presentes en el gas se congelen y obstruyan la sección de paso por las tuberías. Seguidamente va a un intercambiador gas-gas donde el metano (sustancia refrigerante) pasa por la coraza y el gas entra por un haz de tubos a una temperatura de 42°C y una presión de 3040 kPa, se enfría aproximadamente hasta -6°C. Seguidamente entra al *Chiller* donde disminuye su temperatura hasta -37°C, para entrar a una válvula *Joule-Thompson* donde disminuye la presión de 3040 kPa hasta 2634 kPa y disminuye su temperatura hasta -41°C. Posteriormente va al *LTS (Low Temperature Separation)* que como su nombre lo indica es un separador a bajas temperaturas donde se separa por diferencia de peso el metano gaseoso, los hidrocarburos líquidos llamados C_2+ o C_2 plus (desde el C2-C7) y el metanol con el agua, estos últimos caen en una bota donde es succionado por una bomba de recirculación que los re-inyecta a la torre de contacto, el metano gaseoso regresa al intercambiador gas-gas donde es recalentado a 30°C y se usa después como gas combustible para las turbinas, mientras que el C_2+ que se extrae del LTS va a una unidad de destilación por fraccionamiento donde se obtiene gas licuado y nafta líquida.

➤ Ciclo *Chiller* para el propano.

El proceso empieza en un tanque de almacenamiento de propano líquido (bala) a 1216 kPa y aproximadamente 40 °C, de ahí va a un economizador donde ocurre una caída de presión hasta

405,3 kPa, a una temperatura de 0°C y ocurre el pre-enfriamiento del propano el cual se vaporiza. Seguidamente pasa el propano gaseoso hacia un enfriador (CHILLER) y de ahí lo succiona un compresor a una presión de 30390 Pa y se mezcla con aceite de refrigeración (SPX-5000, cuya función es lubricar el compresor facilitando así el proceso de enfriamiento), esta mezcla líquida a 1013 kPa y 55 °C entra a un separador, el cual separa el aceite líquido (que se vuelve a inyectar en los compresores) del propano que se vaporiza y pasa como gas a un condensador en un ambiente de más de 8°C y se recircula en el tanque de almacenamiento para utilizarlo como sustancia refrigerante.

➤ Unidad de Destilación por fraccionamiento.

La unidad está compuesta por dos torres empacadas de 15.94 m de altura y 0.61 m de diámetro, la primera torre (de-etanizadora) en un torrente de alrededor de 1814 kg/h. Esta torre trabaja a una presión de 2100 kPa y una temperatura de fondo de 112,6°C proporcionada por un rehervidor tipo kettle. En estas condiciones el elemento más volátil, el etano, es desprendido de la corriente y retornado al proceso debido a que su elevada presión de vapor dificultaría la obtención de subproductos con la calidad requerida. El etano extraído se alivia hacia el *flare* o se reinyecta al cabezal de succión de los compresores, con el propósito de recuperar esta corriente y de despojarlo de posibles trazas de metano que pueda arrastrar. En el fondo de la torre de-etanizadora se obtiene el C₃₊ (hidrocarburos contenidos en la fracción de tres a siete átomos de carbono) que sale en forma líquida hacia la segunda torre como corriente de alimentación.

Esta segunda torre es una columna de-butanizadora de 12 etapas de equilibrio, la corriente de alimentación está en un rango de 1361- 1588kg/h. Posee un rehervidor tipo kettle el cual permite alcanzar una temperatura de fondo alrededor de 177 °C. La presión de operación de esta columna se debe mantener alrededor de 1500 kPa. La temperatura de tope se controla por medio del reflujo que se obtiene al enfriar los elementos ligeros (propano y butano) que salen por el tope en un condensador y almacenarlos luego en un tambor de reflujo desde el cual una bomba centrífuga lo reinyecta al tope en la medida en que lo exija la temperatura de tope prefijada (alrededor de 50 - 60 °C) y el nivel en el tambor. La razón de reflujo prefijada es 3. Cuando se satisfacen estas variables, el flujo de exceso (destilado) pasa a ser almacenado en sendas balas de almacenamiento de alta presión con 208 m³ de capacidad. Los productos más pesados caen al fondo de la torre, el rehervidor instalado en esta hace que ebullean y sobrepasen una mampara instalada en este equipo y cuando el nivel sea adecuado, son parcialmente enfriados y enviados a

tanques atmosféricos de almacenamiento. Todo este sistema se controla a través de dispositivos automáticos de control.

➤ Unidad de Calderas y turbinas.

El metano gaseoso que sale del intercambiador de calor pasa como combustible hacia las 3 turbinas GT's que pueden producir 39,6 MW cada una, acoplados a estas hay tres Generadores de Vapor por Recuperación de Calor (HRSG) que producen, igualmente por diseño, 90000 kg/h de vapor sobrecalentado cada una. Finalmente se incorpora una turbina de vapor (ST) que produce 81,95 MW.

A la turbina de vapor instalada llegan 270000 kg/h de vapor sobrecalentado a 519 °C y 8000 kPa de presión absoluta, proveniente de los tres HRSG. En la misma, el vapor se expande hasta 11.20 kPa y 48.1 °C. Los gases de escape de la Turbina de Vapor se condensan con 4295 kg/h de agua de mar a 35.5 °C la cual se calienta hasta 44 °C. La bomba de condensado lleva este hasta un tanque de deaeración cuyo propósito es eliminar los gases disueltos o arrastrados en el agua de alimentar la caldera, particularmente CO₂ y aire, este equipo opera a vacío (60 kPa). La deaeración se realiza a expensas de una extracción en la etapa 15 de la turbina que sale a 203 kPa y 120.8 °C. A la salida del deaerador se encuentran tres bombas de agua de alimentación (70 °C y 11600 kPa) a los HRSG. El vapor sobrecalentado (90t/h) en los HRSG se produce a 522 °C y 8600 kPa, de la quema adicional de 2000 m³/h del gas combustible. Las pérdidas de presión desde los HRSG a la ST garantizan los parámetros de entrada en la misma. El gas rechazado en los Generadores de Vapor por Recuperación de Calor (149 °C) es enviado a la atmósfera. (Anexo #2)

2.2 Procedimiento para la caracterización climatológica de la zona objeto de estudio.

La caracterización climatológica de la zona objeto de estudio se realiza a partir del estudio del comportamiento de los diferentes elementos del clima, que son de interés para la investigación, para la década comprendida desde el año 2000 al 2009. Los datos para la caracterización fueron aportados por Moya (2010) del Instituto de Meteorología de la provincia de Matanzas perteneciente al CITMA y Soriano (2010) del aeropuerto internacional Juan G. Gómez de Varadero.

Los elementos o variables tomados en cuenta para el estudio son:

- Nubosidad: Los valores que se toman para esta variable son los medios y estos oscilan entre 4 y 5, a excepción del mes de abril que es el menos nuboso con un valor de 3.
- Temperatura del aire: Para esta variable se tomó los valores máximos y mínimos y se halló la temperatura media. Esta temperatura media oscila entre 20 y 26, donde la temperatura más baja la reporta el mes de enero y la más alta corresponde a los meses de julio y agosto, siendo estos los más cálidos.
- Humedad relativa: En el caso de este elemento los valores medios oscilan entre 73, que corresponde al mes de abril siendo este el menos húmedo y 84 que pertenece a los meses de septiembre y octubre.
- Viento: Para esta variable las mayores velocidades medias las posee los rumbos ENE, E, NE y la menor se reporta en dirección W, siendo este de 9,9 km/h.

2.3 Procedimiento de identificación de las sustancias involucradas en el proceso.

Se realiza la caracterización de las sustancias involucradas en el proceso con el objetivo de que sea más fácil determinar las sustancias que involucren un mayor riesgo tanto para la salud como para el medio ambiente.

Según Orozco (2007), 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 autoignición.
- Coeficiente de expansión.
- Temperatura de inflamación.
- Biodegradabilidad.
- Corrosión.
- Capacidad calorífica.

Formas de control y mitigación en casos de desastres

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

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 2.1 Modelo para la clasificación toxicológica de la sustancia analizada.

Sustancia	Toxicidad							
	Toxicidad aguda	Irritación	Sensibilización	Toxicidad por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	Toxicidad para la reproducción

(Fuente: Orozco, 2007)

Condiciones de almacenamiento y manipulación

- Nombre del producto almacenado.
- Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal).
- 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, entre otros (definir fecha y cantidad de producto vertido).
- Tipo de averías producidas.
- Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura, entre otros).
- 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.
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada.
- Diámetro de la tubería.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento).
- Protección del sistema de tuberías.

En el Anexo #3 se aprecia la caracterización de las sustancias moduladas y en el Anexo # 4 se muestra el significado de las frases de peligros R y S.

2.4 Aplicación de la técnica HAZOP para la evaluación de los riesgos operacionales del proceso.

Para la evaluación de los riesgos se emplea la técnica del análisis HAZOP, también conocido como análisis de riesgo y operabilidad. (Casal, 2001)

2.4.1 Metodología para el análisis.

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 y organizar el equipo de estudio, y planear la secuencia de estudio y las sesiones de trabajo. Después del estudio previo se puede comenzar el análisis propiamente dicho. El primer paso es la selección de los elementos críticos que deben estudiarse (depósitos, reactores, separadores, etc.).

Sobre cada nodo de estudio, que corresponde a cada línea de fluido de cada elemento seleccionado, y de forma secuencial y repetitiva, se aplican las palabras guía (no, más, menos, otro, parte de, etc.) a cada una de las condiciones de operación del proceso, las sustancias y las variables que intervienen (flujo, presión, temperatura nivel, tiempos, etc.). Operando de esta manera se generan las desviaciones significativas de las condiciones normales de operación y se realiza un repaso exhaustivo de los posibles funcionamientos anómalos.

El estudio de las desviaciones conduce a la identificación de sus posibles causas y consecuencias y, por lo tanto, del riesgo potencial y de los problemas derivados de un funcionamiento incorrecto; paralelamente, se buscan los medios protectores del sistema. (Montiel, 2001)

2.5 Caracterización del software ALOHA.

El programa que utilizaremos es el ALOHA, cuyas siglas significan *Areal Locations of Hazardous Atmospheres* de la EPA, EEUU. Este programa computarizado está diseñado específicamente para el uso de personas que responden a accidentes químicos, así como la planificación y entrenamiento de emergencia. El *software* ALOHA puede predecir las tasas a las cuales los vapores químicos pueden escapar a la atmósfera desde tuberías en mal estado, fugas de tanques y charcos en evaporación.

Entonces puede predecir cómo una nube de gas peligrosa podría dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental.

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

2.5.1 Aspectos generales de la modelación con ALOHA.

El *software* se basa en los modelos de dispersión del aire para estimar el movimiento y dispersión de la nube de gas químico, se estima la dispersión de gas tóxica, valores de sobrepresión desde la explosión de una nube de vapor y el área inflamable de la nube de vapor, además 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*, por sus siglas en inglés LOC), los resultados son representados en diagramas Y vs. X donde nos indica la amplitud del área de localización en eje Y y su alcance en el eje X (*Threat zone plot*).

Este *software* constituye una herramienta para la planificación, los propósitos académicos y las respuestas de emergencia. No puede ser usado para emisiones de sustancias radioactivas, licencias ambientales de chimeneas de gases y emisiones fugitivas.

En el *software* ALOHA se utilizan tres categorías peligrosas:

- **Dispersión de gas tóxico:** 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: El 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, almacenados 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 juntas por la ruptura de un tanque.

- **Fuegos y Explosiones:**

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 Inflamabilidad Inferior (LEL) y Límite de Inflamabilidad Superior (UEL).

- Si el compuesto químico en fase vapor se pone en contacto con la fuente de ignición, solo se producirá el fuego si la relación aire-combustible está entre LEL y UEL. Compuestos con alta volatilidad y 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^2 :

- Rojo: 10 Kw /m^2 Potencialmente letal en el intervalo de 60 segundos.
- Naranja: 5 Kw /m^2 quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 segundos.
- Amarillo: 2 Kw /m^2 (dolor en 60 segundos).

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.

Este programa modela además cinco tipos de escenarios de fuego y explosiones asociados con emisiones de compuestos químicos, los cuales son:

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

2.6 Metodología para la utilización del software ALOHA.

El ALOHA es un programa de ejecución rápida y puede usarse fácilmente de modo que se puede operar durante situaciones de alta presión. Consta de varios pasos básicos:

1. Indicar la ciudad donde está ocurriendo una descarga accidental, fecha y hora del accidente.
2. Elegir el producto químico de preocupación de la biblioteca de información química en ALOHA.
3. Introducir información sobre las condiciones meteorológicas actuales.
4. Describir en qué forma el producto químico escapa del lugar que esta contenido.
5. Pedir al *software* ALOHA que presente una huella, en la que se muestre la zona donde las concentraciones químicas en el aire pueden llegar a ser lo suficientemente altas como para presentar un riesgo para las personas.

Este programa además de los gráficos que aporta puede brindar información acerca del sitio, datos de producto químico, datos atmosféricos, zona tratada, etc. También muestra las clases de estabilidad ordenadas en A, B, C, D, E, F, correspondiendo con extremadamente inestable, moderadamente inestable, neutro, moderadamente estable, estable, muy estable. Los diferentes LOC, utilizados por el programa son:

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

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

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

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

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

TEEL: Las siglas se utilizan cuando no se conocen exactamente los valores de ERPG para un compuesto químico, ya que representa los niveles temporales, *Temporal Emergency 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 *Immediately Dangerous to Life or Health*. No está designado para ser tomado como un límite de exposición a toda la población ya que no está definido en correspondencia con la sensibilidad de algunas personas como los niños. No deben usarse los valores del IDLH para identificar definitivamente condiciones peligrosas en términos generales.

LEL: El límite inferior de Explosividad (LEL) también llamado el límite más bajo de inflamabilidad, es la concentración mínima de combustible en el aire necesitado para un fuego o una explosión, para ocurrir debe haber una fuente de ignición presente. Si la concentración es baja indica que no hay suficiente combustible en el aire para sostener un fuego o una explosión. El LEL está determinado experimentalmente utilizando presión y temperatura estándares. Además, si la concentración de combustible en el aire supera el Límite Superior de explosividad (UEL) entonces no habrá ni fuego ni explosión.

Capítulo III: Análisis de los resultados.

En este capítulo se ofrece el análisis de los resultados obtenidos en el estudio de riesgo realizado en la planta de gas Energas.S.A Varadero. En el mismo se aplica una técnica de análisis de riesgo: HAZOP, además se emplea la última versión del software ALOHA, para la evaluación de los escenarios de riesgos por BLEVE y Jet Fire en casos de desastres en plantas químicas, con el objetivo de culminar el estudio de los escenarios de riesgos en esta planta. Se adiciona además el estudio del escenario de la dispersión de una nube tóxica de sulfuro de hidrógeno.

3.1 Resultados de la caracterización del clima de la zona objeto de estudio.

En distintas zonas el clima se manifiesta diferente ya sea: situación geográfica o incluso el relieve del lugar. Todas las variables meteorológicas presentan una gran variabilidad estacional y diaria. Para posibilitar la modelización de la dispersión de manera representativa, se suelen tomar valores medios específicos del área de estudio. A continuación se describe el comportamiento de las principales variables climáticas analizadas.

➤ **Nubosidad.**

En la figura que se muestra a continuación se aprecia la nubosidad modulada en Microsoft Excel de los 12 meses del año , donde los meses con mayor nubosidad son junio, julio, agosto, septiembre y noviembre, mientras que el de menor nubosidad es abril.

En el anexo #5, tabla 5a se puede apreciar con más detalle el comportamiento de esta variable, donde los valores medios oscilan entre 4 y 5 que corresponde a un cielo parcialmente nublado según el *software* ALOHA, este establece un rango de 0-10, donde el valor 0 se toma para referirse a un cielo despejado, 5 un cielo nublado y 10 un cielo totalmente nublado.

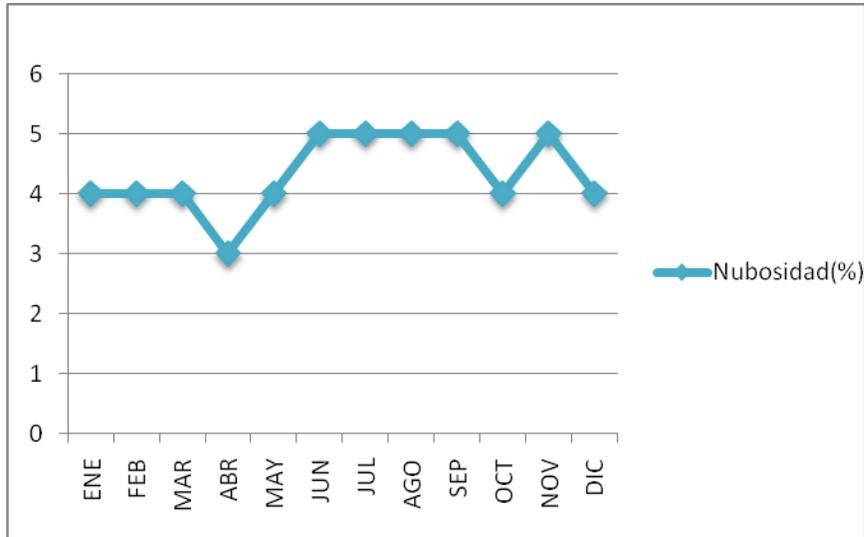


Figura 3.1. Comportamiento medio de la nubosidad para la zona objeto de estudio en la década analizada.

(Fuente: Elaboración propia)

➤ **Temperatura del aire.**

La temperatura del aire del territorio alcanza los máximos valores en los meses de julio y agosto, mientras que los valores mínimos se manifiestan en enero y febrero.

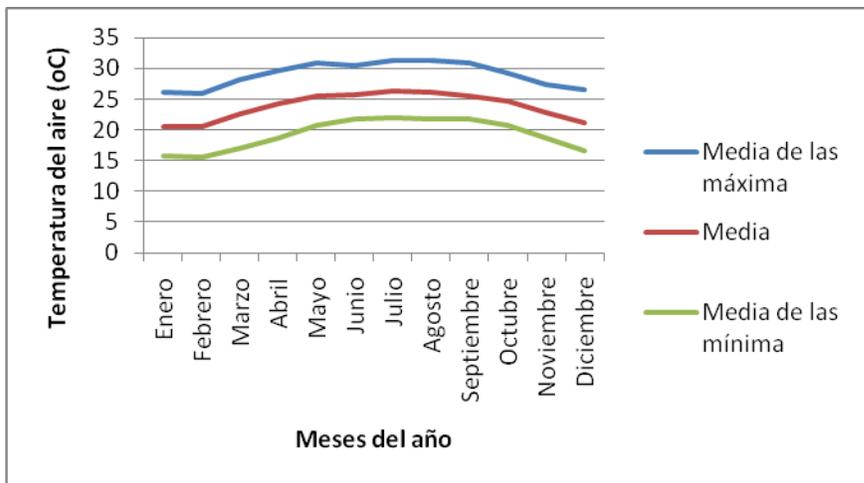


Figura 3.2. Comportamiento anual de la temperatura media del aire para el territorio en la década analizada.

Se muestra además el análisis de las temperaturas máximas promedio donde julio y agosto aparecen como los meses más cálidos con 31.43°C y 31.3°C respectivamente (ver anexo # 5b) y se presentan los valores medios de temperatura mínima, donde se observa a enero y febrero como los meses más fríos con 15.7°C y 15.6°C de temperatura mínima promedio respectivamente.

Debe señalarse que los datos obtenidos para cada uno de los meses del año para la década analizada fueron procesados estadísticamente mediante el programa *Statgraphics Plus 5.1* (2001) donde pudo comprobarse que los coeficientes de variación de la temperatura para cada uno de los meses del año no supera el 3 %. Esto garantiza una alta estabilidad del comportamiento del parámetro durante toda la década para el mes en cuestión.

➤ **Humedad del aire.**

La humedad relativa se muestra en la figura 3.3, donde se obtuvieron valores elevados durante el año dado la cercanía de la zona de estudio a la costa. En el caso del mes de abril constituye el menos húmedo alcanzando un valor de 73%, mientras que junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre se alcanzan con un valor superior al 80%.

De igual forma se analizó la variabilidad de la humedad y en ningún mes el coeficiente de variación supera el 2 % garantizándose la estabilidad de la variable para cada uno de los meses de la década analizada.

En el anexo #5e se muestra con más detalle la humedad relativa para el período estudiado. El *software* ALOHA usa un rango del 5 al 100% para referirse a esta variable, donde al 5% no hay humedad, al 50 % es un término medio y al 100% se alcanza la mayor humedad que es prácticamente un ambiente mojado.

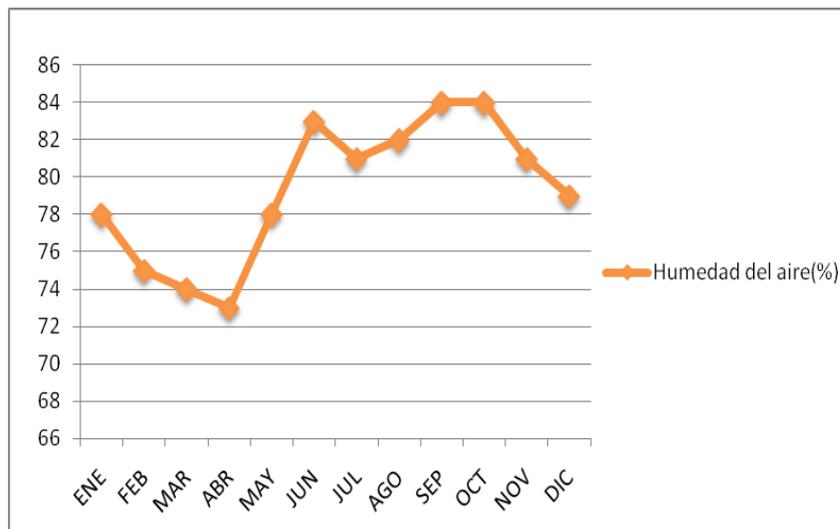


Figura 3.3. Comportamiento de la humedad relativa media de la zona objeto de estudio para la década analizada.

(Fuente: Elaboración propia)

➤ **Viento.**

El viento predominante se refleja en las zonas del Este, Noreste y Este-Noreste con una frecuencia de casi un 16%, 10% y 9% respectivamente, mientras que la menor se manifiesta en la zona Noroeste con casi un 1%. Además, las mayores velocidades medias son de casi 17 Km/h, 15.4 Km/h y 15km/h coincidiendo con los rumbos del viento.

A continuación en la figura 3.4 se refleja la frecuencia de ocurrencia de cada uno de los vientos por rumbos y la velocidad media con que sopla en esa dirección.

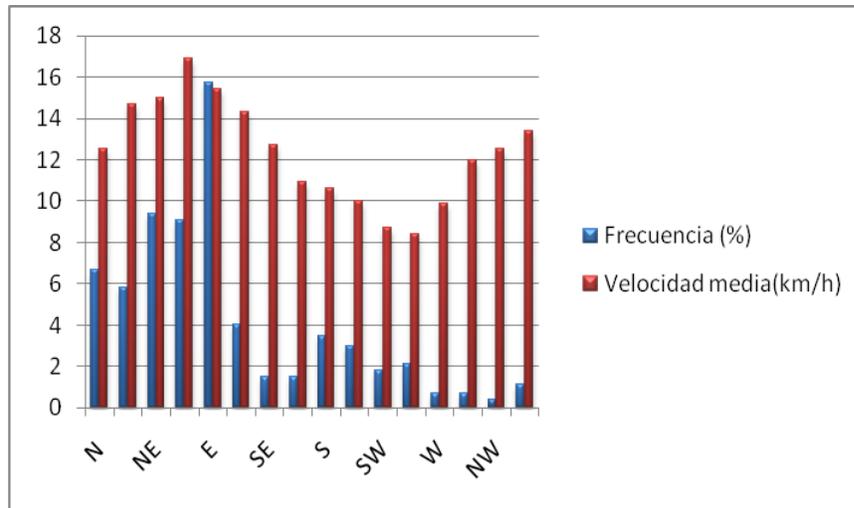


Figura 3.4. Comportamiento de la velocidad del viento y la frecuencia de ocurrencia para cada dirección en la zona objeto de estudio.

(Fuente: Elaboración propia)

En el anexo #5 se puede observar con mayor grado de detalles el comportamiento de todas las variables analizadas desde el punto de vista climático.

3.2 Análisis de las sustancias peligrosas que pueden provocar posibles accidentes en la zona de estudio.

La caracterización de las sustancias involucradas en el proceso permitió obtener el grado de peligro que las mismas poseen.

El análisis resumen que se ofrece en la tabla 3.1, sobre el nivel de peligrosidad de las sustancias, estuvo basado en las indicaciones que se ofrecen en los lineamientos generales para determinar las categorías de peligro toxicológico según PNUMA/IPCS (1999) y parte de la caracterización general que se hizo de cada una de las sustancias aparecen de forma más detalladas en el anexo #3.

En dicha tabla se puede observar que las sustancias que poseen el mayor grado de peligrosidad son el sulfuro de hidrógeno(H₂S) y la nafta que son consideradas de peligro alto y especial respectivamente, mientras que el gas licuado y el propano se clasifican en un nivel medio y bajo respectivamente.

Tabla 3.1 Nivel de peligro asociado a las sustancias involucradas en el proceso.

Sustancias	Frases de riesgo	Peligro
Gas Licuado	R2/R3/R5/R7/R10/R12/R22/R13/R25/R44/R52/R54/ R55/R56.	Medio
H ₂ S	R20/R23/R24/R26/R33/R37/R39/R45/R54/R55	Especial
Nafta	R12, R20/22, R36/37/38 S2/S7/S9/S16/S23/S28/S29/S33/S36/S61/S62	Alto
Propano	R12 S2/S9/S16/S36/S37/S39/S33	Bajo

(Fuente: Elaboración Propia)

Según PNUMA/IPCS (1999) esta clasificación de peligro responde a:

- Peligro especial: las sustancias incluidas en esta categoría son las carcinógenas, las mutagénicas y los compuestos con efectos tóxicos en el sistema reproductivo, son consideradas como muy peligrosas y deben ser evaluadas individualmente.
- Peligro alto: sustancias etiquetadas como muy tóxicas, tóxicas, corrosivas o sensibilizadoras de la piel.
- Peligro medio: las sustancias consideradas de peligro medio y que ingresan por inhalación o ingestión son etiquetadas como “dañinas” y las de daño medio para la piel, como “dañinas” o “irritantes”.
- Peligro bajo: son las sustancias no consideradas en ninguna de las otras categorías de peligro.

Otro de los resultados obtenidos de la caracterización de la sustancia es la matriz resumen que aparece en la tabla 3.2 donde se ofrecen todos los efectos toxicológicos que presentan las sustancias analizadas. Se puede apreciar que la nafta y el sulfuro de hidrógeno son las sustancias más peligrosas, seguidamente el gas licuado y el propano que es de toxicidad más baja causando solamente una ligera sensibilización en la piel por las quemaduras de frío que provoca. Además

el efecto que predomina es la sensibilización, mientras que también aparecen sustancias de toxicidad aguda, irritantes, carcinogénicas, toxicidad por dosis repetidas y corrosivas.

Tabla 3.2 Matriz resumen de la toxicidad de las sustancias.

Sustancia	Toxicidad								Total de efectos de la sustancia
	TA	I	S	TDR	M	C	Co	TPR	
Gas Licuado	X	O,P,R	X						3
H ₂ S	X	O,P,R	X	X		X	X		6
Nafta	X	O,P,R	X	X		X	X		6
Propano			X						1
Total de sustancia con el efecto	3	3	4	2		2	2		
Donde, T A: Toxicidad Aguda, I: Irritación, S: Sensibilización, TDR: Toxicidad por dosis repetida, M: Mutagenicidad, C: Carcinogenicidad, Co: Corrosión, TPR: Toxicidad para la reproducción.									

(Fuente: Elaboración propia)

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

En el anexo #6 se puede apreciar con más detalle los efectos (referidos a las concentraciones en ppm) que puede producir el sulfuro de hidrógeno a las personas que se encuentren expuestas a esta sustancia.

3.3 Resultados de la aplicación de las técnicas de análisis de HAZOP.

Estas técnicas se decidió aplicarlas a los equipos que presentaban los mayores niveles riesgos (tanques, balas, separador de entrada a la planta). Los resultados obtenidos permitirán en esta planta tomar las medidas necesarias para evitar que ocurran operaciones riesgosas, ya que con

esta técnica pudieron ser previstas. Se presenta en forma de tabla cada una de las desviaciones que pueden ocurrir en el proceso así como las causas que la originaron, sus consecuencias y las medidas de corrección para solucionar el fallo. Anexo #7

Se ofrece a continuación en la tabla 3.3 un resumen de las desviaciones más significativas y que niveles más altos de riesgos pudieran producir en la planta para cada uno de los equipos estudiados:

Tabla 3.3. Resumen de las desviaciones más significativas.

Equipo	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias Posibles
Tanque de almacenamiento de Nafta.	Aumento del nivel de Nafta por encima de la altura operacional.	Descuido de los operadores al seguir recibiendo producto sin controlar el nivel del tanque. Falla del trasmisor de nivel.	Desbordamiento y derrame del producto. Pérdida del producto. Aumenta el riesgo de incendio.
Balas de almacenamiento de Propano.	Aumento del nivel de Propano.	Falta de chequeo operacional para evitar que la bala supere los 80 %.	Aumento de la presión y posible colapso y explosión del recipiente.
Balas de almacenamiento de Gas Licuado.	Aumento del flujo.	Aumento brusco de la producción por perturbación en la torre destiladora.	Aumento de la presión dentro del recipiente, disminución de la calidad del producto y posible rotura y explosión del tanque.
Separador de entrada a la planta.	Disminución de la presión en el equipo.	Afectación en los centros colectores del campo.	Disminución de la energía generada hasta la total parada de la planta.

Al realizarse un análisis de riesgo por HAZOP se determinó que tanto los tanques y balsas de almacenamiento, así como el separador pueden ocasionar daños en el proceso. Se observó que la desviación más riesgosa en el tanque de almacenamiento de Nafta está relacionada con el aumento del nivel, debido a que si existiera alguna anomalía puede ocurrir una pérdida de producto, pero también si no se revisa constantemente el nivel de propano puede provocar un aumento de la presión y posible colapso y explosión del recipiente. Además otro problema frecuente es que exista un aumento del flujo en las balsas de almacenamiento de Gas Licuado debido al aumento brusco de la producción por perturbaciones en la torre destiladora, lo que provoca una disminución de la calidad del producto y posible rotura y explosión del tanque.

Del análisis de esta tabla y teniendo en cuenta los criterios de los operarios de la planta, el separador tiene como variable de riesgo más importante la presión, ya que una disminución de la misma puede provocar una disminución de la energía generada y la total parada de la planta, por lo que se debe controlar con un período mayor que las demás.

3.4 Resultados de la aplicación del software ALOHA.

3.4.1. Establecimiento de las condiciones de trabajo con el *software*.

Este estudio se realiza con la finalidad de determinar las áreas de atmósferas peligrosas que pueden originarse ante posibles accidentes químicos. Las sustancias involucradas son: Gas licuado, Sulfuro de hidrógeno, Nafta y Propano.

Para una correcta utilización del programa y que los resultados que se obtengan sean fáciles de entender y manejar se toman algunas consideraciones:

- Trabajar con los valores medios de las variables que caracterizan a la década analizada.
- Realizar el estudio para cada uno de los meses del año ya que hay variaciones climatológicas significativas entre los diferentes meses.
- Tomar en cuenta las 16 direcciones del viento posibles para el análisis.

Los parámetros climatológicos son los requeridos por el software para estimar las áreas de peligro, tomando en cuenta los criterios obtenidos para la selección de cada uno de ellos, por la importancia que estos revisten serán analizados independientemente:

- Temperatura del aire: en el caso específico de la temperatura se decide tomar los valores medios de la máxima debido a que con ella se garantiza estimar las mejores condiciones de la dispersión.

- Humedad relativa: se trabaja con los valores medios, de lo contrario sería necesario hacer estimaciones para los diferentes horarios del día donde ocurren los valores máximos y mínimos. Además, se pudo comprobar que la variación que existe entre la media de las máximas y la media no introduce variaciones de consideración en el comportamiento de la dispersión del contaminante.
- Nubosidad: se toman el valor medio de la nubosidad para cada mes de la década analizada.
- Viento: para este caso se toman los 16 rumbos con la velocidad media correspondiente para el período analizado.

3.4.2 Estimación del comportamiento de los diferentes contaminantes a través del software ALOHA para los escenarios objeto de estudio.

Para estimar el comportamiento de los diferentes contaminantes se aplicó el software ALOHA, donde se utilizó las 16 variaciones del viento, así como todos los meses del año y las 4 sustancias de mayor peligrosidad involucradas en el proceso. Los datos suministrados al *software* fueron tomados de la caracterización de la planta que aparece en el anexo # 3. Por las características de los químicos involucrados en el proceso y teniendo en cuenta los escenarios pendientes de estudio se analizan los siguientes escenarios:

Escenario #1: BLEVE, explosión de un tanque y el químico combustiona en forma de bola de fuego.

Escenario #2: Jet Fire, escape masivo de una nube de gas inflamable, o gas licuado presurizado, en circunstancias en las que se produce la ignición de la masa de gas.

Escenario #3: Dispersión de una nube tóxica.

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados obtenidos a través del software ALOHA en la modelación de los escenarios objeto de estudio, con respecto a una de las sustancias involucradas: el gas licuado.

Análisis del escenario#1: BLEVE.

- Sustancia tóxica: Gas licuado.
- Mes analizado: Agosto.
- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4km/h.

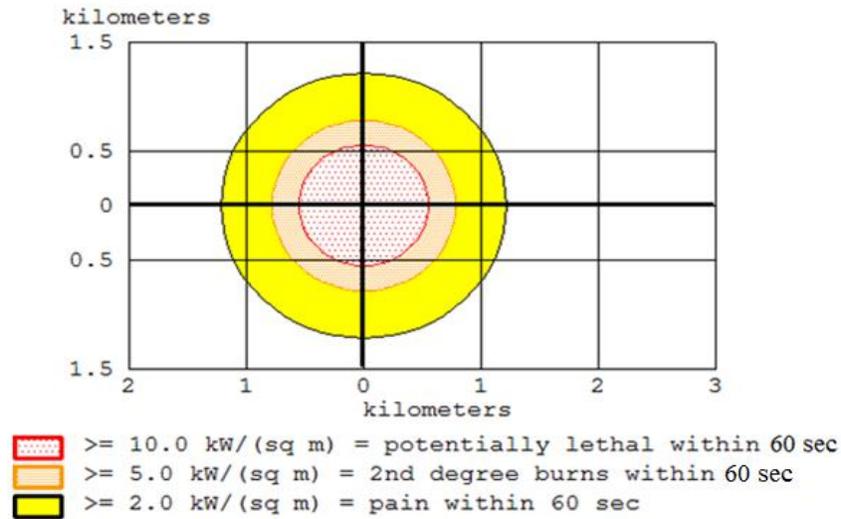


Figura 3.5. Comportamiento de la radiación térmica, para el caso de producirse un BLEVE a partir del Gas licuado.

(Fuente: *Software ALOHA*)

El gráfico mostrado ofrece por el eje de las X la distancia que alcanza la radiación del BLEVE y por el eje de las Y el ancho de la misma. Brinda además tres zonas delimitadas por diferentes colores, donde cada uno de ellos representa la radiación que tiene la zona de acuerdo a los niveles que establece la EPA (*Environmental 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.

La zona roja posee una radiación mayor o igual a $10 \text{ Kw}/\text{m}^2$ e indica que es potencialmente letal en el intervalo de 60 s.

La zona naranja posee una radiación mayor o igual a $5 \text{ kw}/\text{m}^2$ e involucra quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 s.

La zona amarilla posee una radiación mayor o igual a $2 \text{ kw}/\text{m}^2$ e implica sufrir dolor en 60 s.

En la siguiente tabla se recogen los resultados reportados por el software en cuanto al alcance de las diferentes zonas de peligro.

Tabla 3.4: Resumen de las extensiones de las zonas de peligro y el nivel de radiación para el radio exterior de cada área.

Tipo de bala	Radiación (Kw/m^2)	Radio del área (m)
208 m^3	LOC-3(10)	554

	LOC-2(5)	782
	LOC-1(2)	1200

Para el caso en que se verifique este escenario, los niveles de radiación alcanzados en un radio de 554 m, justo en la frontera exterior de la zona roja la radiación es de 10 kw/m², y por debajo de esta distancia las radiaciones son aún mayores, por lo que debe esperarse que una gran parte de la planta ofrece un peligro letal para sus operarios. Por otra parte desde los 228 m hasta 782 m, el personal de la planta puede sufrir quemaduras de segundo grado y finalmente desde la frontera de esta última zona hasta 1200 m implica las menores afectaciones para los operarios de la planta.

El análisis hasta aquí descrito se realizó para cada uno de los meses del año, en todas las direcciones del viento y para las cuatro sustancias tóxicas objeto de estudio. Los resultados obtenidos aparecen tabulados en el Anexo #8 y pueden ser interpretados similarmente.

También se muestra un ejemplo del escenario #2: Jet Fire para ver las repercusiones que podría causar el gas licuado en el mes de julio con vientos del Este en la zona de estudio.

Análisis del escenario# 2: Jet Fire.

- Sustancia tóxica: Gas licuado.
- Mes analizado: Julio.
- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4km/h.

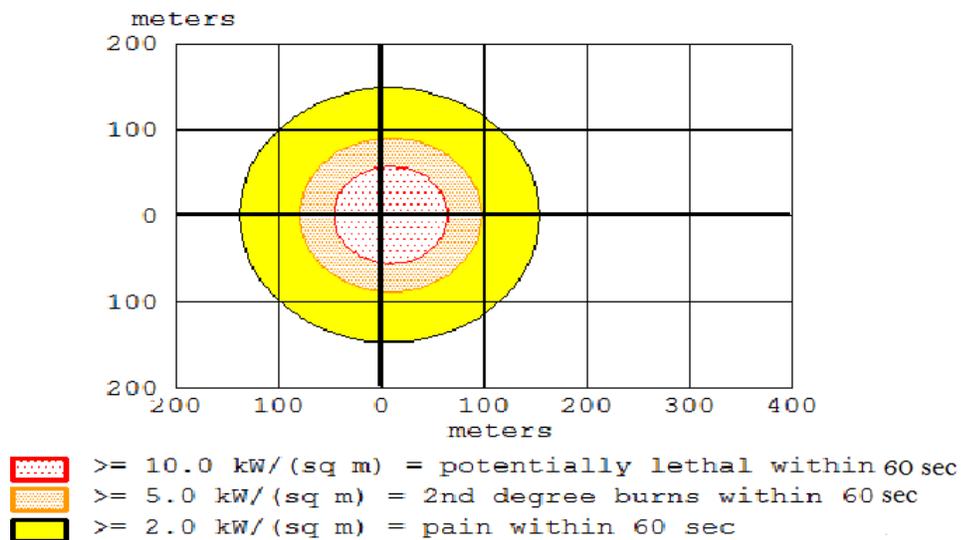


Figura 3.6. Comportamiento de la radiación térmica, para el caso de producirse un Jet Fire a partir del Gas licuado.

(Fuente: *Software* ALOHA)

La zona roja posee una radiación mayor o igual a 10 Kw/m² e indica que es potencialmente letal en el intervalo de 60 s.

La zona naranja posee una radiación mayor o igual a 5 kw/m²e involucra quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 s.

La zona amarilla posee una radiación mayor o igual a 2 Kw/m² e implica sufrir dolor en 60 s.

Debido a la importancia que posee los datos del ALOHA para comprender el peligro que representan las sustancias involucradas en el proceso se realiza la tabla 3.4 donde se resume las situaciones más peligrosas que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos para puntos cercanos a la fuente de emisión.

Tabla 3.5 Resumen de las situaciones más peligrosas que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos con las sustancias analizadas para puntos cercanos a la fuente de emisión para el escenario #1.

Sustancia tóxica	Zona	Radiación (Kw/m ²)	Afectaciones	Largo
Gas Licuado	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	568
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	801
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	1200
Nafta	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	563
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	795
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	1200
Propano	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	551
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	778
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	1200

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla 3.5 se hace referencia a la situación más peligrosa para el caso en que ocurra un BLEVE, pero se debe tener en cuenta que para el gas licuado a una distancia de 801 m provoca quemaduras de segundo grado (Las quemaduras de segundo grado son aquellas en que las capas superficial e intermedia de la piel están lesionadas. El síntoma característico es la aparición de ampollas. Hay dolor intenso e inflamación del área inflamada.) y a 1200 m se siente dolor, para el

caso de la nafta a la distancia de 795 m provoca quemaduras de segundo grado y a 1200 m se siente dolor, para el propano a 778 m provoca quemaduras de segundo grado y a 1200 m se siente dolor y para el caso del sulfuro de hidrógeno no fue modelada por el *Software* ALOHA, ya que esta sustancia es un gas y el BLEVE no es más que una explosión de un líquido que se expande a la temperatura de ebullición.

Tabla 3.6 Resumen de las situaciones más peligrosas que se pudieran presentar ante posibles accidentes químicos con las sustancias analizadas para puntos cercanos a la fuente de emisión para el escenario# 2.

Sustancia Tóxica	Zona	Radiación (Kw/m ²)	Afectaciones	Largo
Gas Licuado	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	68
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	101
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	158
Nafta	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	46
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	63
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	93
Propano	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	92
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	131
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	204
H ₂ S	Roja	10.0	Potencialmente letal en 60 segundos.	10
	Naranja	5.0	Quemaduras de segundo grado.	13
	Amarilla	2.0	Dolor en 60 segundos.	21

(Fuente: Elaboración propia)

En el caso de este escenario las afectaciones son iguales a las que se producen en el escenario anterior, pero desde el punto de vista de las áreas de peligro, este escenario es mucho menos peligroso puesto que las distancias son muy inferiores.

3.4.3 Resumen del comportamiento de las áreas de riesgo para los diferentes escenarios y contaminantes.

En las siguientes tablas se muestra la distancia alcanzada por la radiación, para el peor de los casos analizados durante el año para los diferentes escenarios, donde se tiene en cuenta tanto las

distancias obtenidas por el ALOHA para las diferentes sustancias así como las 16 variaciones del viento.

Tabla 3.7 Resumen de las mayores distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento para las cuatro sustancias objeto de estudio, en el caso de que ocurra un BLEVE.

La tabla que se muestra a continuación, fue construida para la distancia donde la radiación alcanza un nivel equivalente a la zona roja (zona de mayor riesgo), ya que las distancias obtenidas por la radiación en la zona amarilla para cada unas de las sustancias no varía para ninguna dirección del viento, así como ningún mes del año, obteniéndose un valor de 1200 m; esto ocurre debido a que el software ALOHA a distancias superiores a esta no estima el valor. Para una mejor comprensión de la tabla se acompaña la misma con la figura 3.7, en donde se muestra la distancia alcanzada (en metros) para los diferentes escenarios.

Distancia longitudinal alcanzada por la radiación (m).			
Dirección del viento.	Gas licuado.	Nafta.	Propano.
E	568	560	545
ENE	568	560	545
ESE	566	561	545
N	566	561	545
NE	566	561	545
NNE	564	561	545
NNW	566	561	549
NW	566	560	548
S	566	561	546
SE	568	561	549
SSE	568	561	547
SSW	566	561	547
SW	568	561	547
W	568	563	549
WNW	566	560	549
WSW	568	563	551

(Fuente: Elaboración propia)

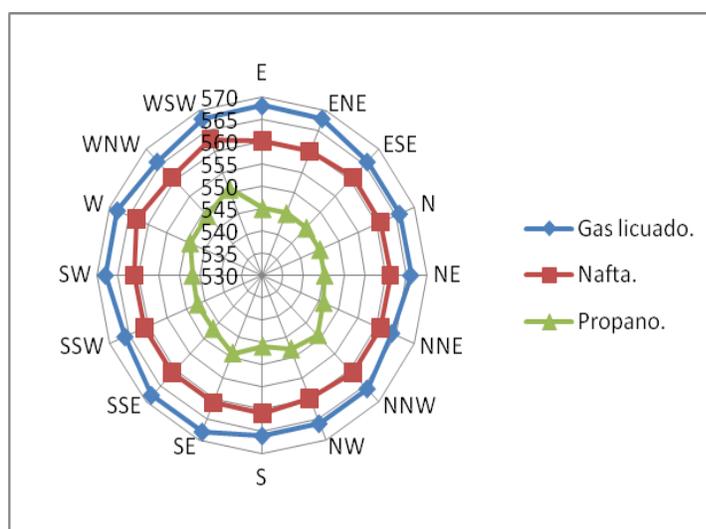


Figura 3.7 Resumen de las mayores distancias de los diferentes contaminantes, durante el año para el escenario #1.

En la figura anterior se aprecia que el gas licuado es quien alcanza la mayor distancia, para las direcciones del viento E, ENE, SE, SSE, SW, W y WSW, registrando valores de hasta 568 m, mientras que el propano alcanza las menores distancias.

Tabla 3.8 Resumen de las mayores distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento para las cuatro sustancias objeto de estudio, en el caso de que ocurra un Jet Fire.

En la tabla 3.8 se ofrece un resumen de la distancia alcanzada (en metros) para cada uno de los químicos analizados. Esta tabla fue construida para la distancia donde la radiación alcanza un nivel equivalente a la zona amarilla, se seleccionó precisamente esta distancia, ya que el Jet Fire de alcanzar con la radiación correspondiente a esta zona otro dispositivo que almacene una sustancia combustible pudiera provocar el surgimiento de otro escenario más peligroso, una explosión. La figura que acompaña la tabla pretende ilustrar más claramente la situación que se origina.

Distancia longitudinal alcanzada por la radiación (m).				
Dirección del viento	Gas licuado	Propano	Nafta	H ₂ S
E	157	203	93	20
ENE	158	204	52	21
ESE	157	203	53	20
N	156	203	53	20
NE	157	203	53	20
NNE	157	203	53	20
NNW	157	203	53	20
NW	156	203	53	20
S	156	202	52	20
SE	157	203	53	20
SSE	156	202	53	20
SSW	156	202	52	19
SW	155	202	48	19
W	156	202	52	19
WNW	156	203	53	20
WSW	155	202	48	19

(Fuente: Elaboración propia)

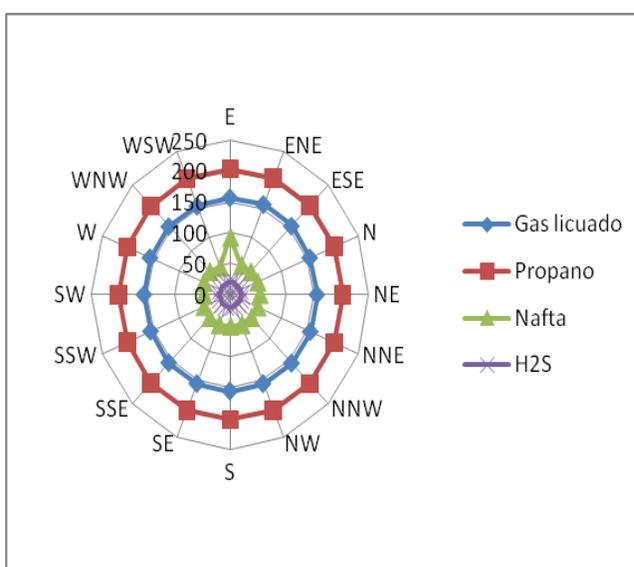


Figura 3.8 Resumen de las mayores distancias de los diferentes contaminantes, durante el año para el escenario# 2.

En la tabla anterior se aprecia que el propano es quien alcanza la mayor distancia, para la dirección del viento ENE, siendo en esta dirección la mayor velocidad del viento (4.69 m/s), mientras que el sulfuro de hidrógeno, llega sólo a los 21 m.

Como se ve en los resultados de producirse un Jet Fire con propano o gas licuado, sería mucho más peligroso que en el caso de las restantes sustancias, ya que cerca de los 200 m y 150 m para cada sustancia respectivamente se pudiera alcanzar otro recipiente de almacenamiento de una sustancia combustible, pero las zonas de mayor radiación de estos Jet Fire son mayores que las correspondientes a las otras sustancias estudiadas, lo cual se infiere a partir de la longitud de sus zonas amarillas.

Las tablas que se muestran a continuación reflejan en que meses se alcanza la máxima distancia cubierta por la radiación de la zona roja para las diferentes sustancias que se analizan y en la dirección del viento en que se manifiestan.

Tabla 3.9 Resumen de la máxima distancia alcanzada por la radiación más intensa de las diferentes sustancias para el escenario# 1:

Sustancia	Meses más agresivos.	Distancia longitudinal alcanzada por la radiación (m).	Dirección del viento en que se manifiesta.
Gas licuado	Febrero.	568	E, ENE, SE, SSE, SW, W, WSW.
Nafta	Febrero.	563	W, WSW.
Propano	Febrero.	551	WSW.

(Fuente: Elaboración propia)

Se puede observar en la tabla anterior que el mes de febrero es el más agresivo, la mayor distancia alcanzada corresponde al gas licuado con 568m y la menor pertenece a él propano con 551m manifestándose en dirección WSW.

Tabla 3.10 Resumen de la máxima distancia alcanzada por la radiación más intensa de las diferentes sustancias para el escenario# 2:

Sustancia	Meses más agresivos.	Distancia longitudinal alcanzada por la radiación (m).	Dirección del viento en que se manifiesta.
Gas licuado	Febrero	158	ENE
Nafta	Agosto	93	E
Propano	Febrero	204	ENE
H₂S	Enero, Febrero Marzo, Diciembre	21	ENE

(Fuente: Elaboración propia)

Evidentemente los resultados de la tabla indican que el propano alcanza la mayor distancia (204m), mientras que la menor pertenece al sulfuro de hidrógeno con solo 21m, la dirección del viento que predomina es ENE y el mes más agresivo es febrero.

3.4.4 Análisis de los resultados de la dispersión de la nube tóxica de sulfuro de hidrógeno.

Atendiendo a los resultados reportados en la tabla 3.1, en relación con la peligrosidad de las sustancias, se decide estudiar el escenario de dispersión de nube tóxica para el sulfuro de hidrógeno, cuando el viento sopla en dirección ESTE hacia el asentamiento poblacional del Humberto Álvarez.

Análisis del escenario# 3: Nube Tóxica.

- Sustancia tóxica: H₂S.
- Mes analizado: Agosto.
- Dirección del viento: Este.
- Velocidad del viento: 15.4km/h.

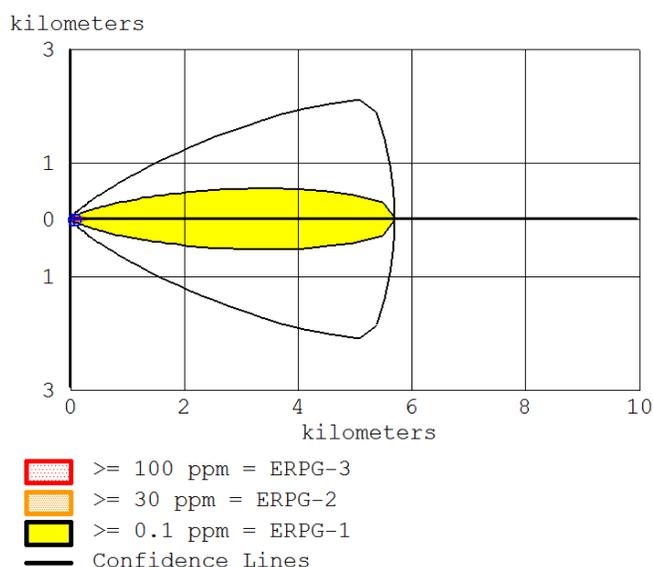


Figura 3.9. Comportamiento de la dispersión de la nube tóxica para el H₂S.

(Fuente: *Software ALOHA*)

La zona roja posee una concentración mayor o igual a 100 ppm, a la que le corresponde un ERPG-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 30 ppm, que equivale a un ERPG-2, que es la concentración en el aire bajo la cual se considera que los individuos expuestos a ella pueden sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impida tomar decisiones para protegerse.

La zona amarilla posee una concentración mayor o igual a 0.1 ppm, a la que le corresponde un ERPG-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 Agosto para la dirección ESTE bajo las condiciones climatológicas correspondientes, se obtiene que en la nube tóxica el área de mayor peligro alcanza más de 155 m de largo y poco menos de 200 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 291 m y un

ancho de unos 400 m. Finalmente se puede interpretar de la figura que el área de menor riesgo posee aproximadamente un largo y un ancho de 5700 y 1000 metros respectivamente, en la cual se afecta en algún sentido su salud y se percibe un desagradable olor.

Resulta importante también determinar cómo se comporta las concentraciones de esta sustancia a determinada distancia de la fuente de emisión para lo cual se obtuvo el siguiente gráfico.

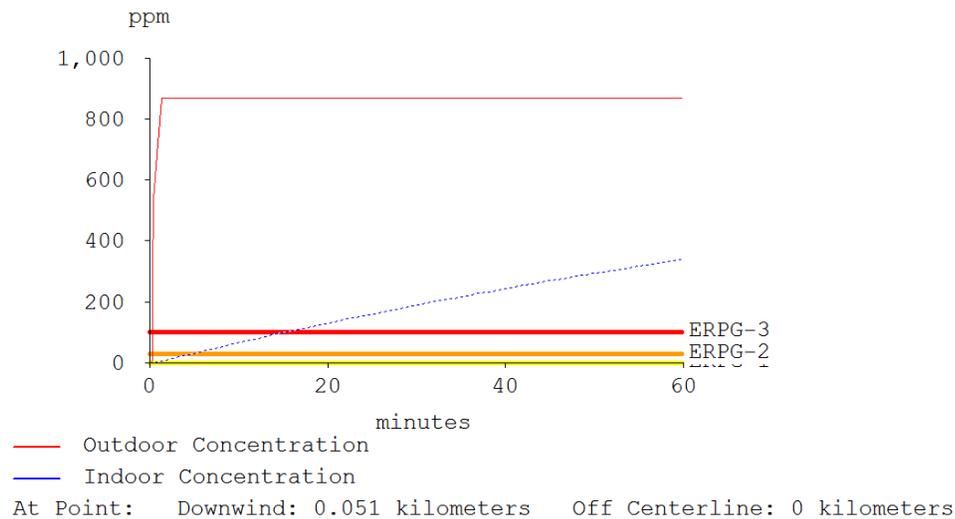


Fig. 3.10. Comportamiento de la contaminación en el interior de los locales.

(Fuente: *Software ALOHA*)

Para un punto situado a 51 m de la fuente de emisión se puede observar que transcurridos aproximadamente 2 minutos en los locales interiores se alcanza una concentración equivalente a la del ERPG-2, donde las personas reciben daños irreparables en su salud y son incapaces de protegerse por sí mismas, pero precisamente en ese instante en el exterior la exposición sería a una concentración que hace peligrar la vida. Transcurridos apenas 18 minutos en los locales interiores se alcanzan concentraciones letales durante 60 minutos según los resultados del software. Atendiendo a la distancia, para la cual se reportan estos resultados, se puede asegurar que una parte considerable de la planta se encuentra bajo un alto riesgo para su vida.

De acuerdo con los resultados obtenidos las áreas con concentraciones correspondientes a la zona roja y naranja no llegan a afectar la población de Humberto Álvarez, pero si la zona amarilla, pudiera entonces pensarse que como a la misma le corresponde una concentración de un poco mas de 0.1 ppm no correría riesgos significativos, sin embargo no debe tenerse en cuenta que las personas que padecen determinadas enfermedades, como las respiratorias o cardiovasculares

sufrirían un efecto mucho mayor al correspondiente a esta concentración del químico debido al fenómeno del sinergismo.

En correspondencia con el análisis efectuado anteriormente se añade en este trabajo las características de la población del Humberto Álvarez.

3.4.5 Impacto de las predicciones realizadas sobre la zona objeto de estudio.

En este epígrafe se analiza como incidiría sobre la zona en cuestión los resultados hasta aquí obtenidos por el *software* ALOHA, evaluando así el peligro que representaría un posible escape de las sustancias tóxicas modeladas y afectar así a los lugares más cercanos como son: Humberto Álvarez, Santa Marta y Varadero.

Con el objetivo de conocer cuáles serían las personas más afectadas a sufrir los efectos de un escape de la sustancia tóxica (H₂S), se realiza la tabla 3.11, siendo esta un resumen del estado de salud de la población más cercana a la planta Energas, en este caso el Consejo Popular Humberto Álvarez.

Tabla 3.11 Resumen del estado de salud de la población de Humberto Álvarez (Guásima).

Tomado del Centro Provincial de Salud, Cárdenas.

Enfermedad	Total de personas enfermas	% que representa la población enferma
Diabetes Mellitus (DM)	341	3.61
Hipertensión Arterial (HA)	2 217	23.47
Asmabronquial (AB)	823	8.71
Insuficiencia renal crónicas (IRC)	2	0.02
Cardiopatía Isquémica (CI)	635	6.72
Enfermedades cerebro Vasculares (ECV)	101	1.07
Total	9448	43.6

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior se aprecia que la hipertensión arterial es la enfermedad que ataca con más incidencia a la población del consejo popular Humberto Álvarez, mientras que la insuficiencia renal crónica afecta solo en un 0.02 % a la población total. Este consejo popular cuenta con un total de 4419 personas enfermas, estas representan el 44% de la población total.

Para una mejor comprensión de lo explicado anteriormente se utiliza la hoja de cálculo Excel, donde representa en % a la población total del poblado, se muestra además a las personas que padecen las diferentes enfermedades, así como el % de personas sanas siendo este de 56 %.

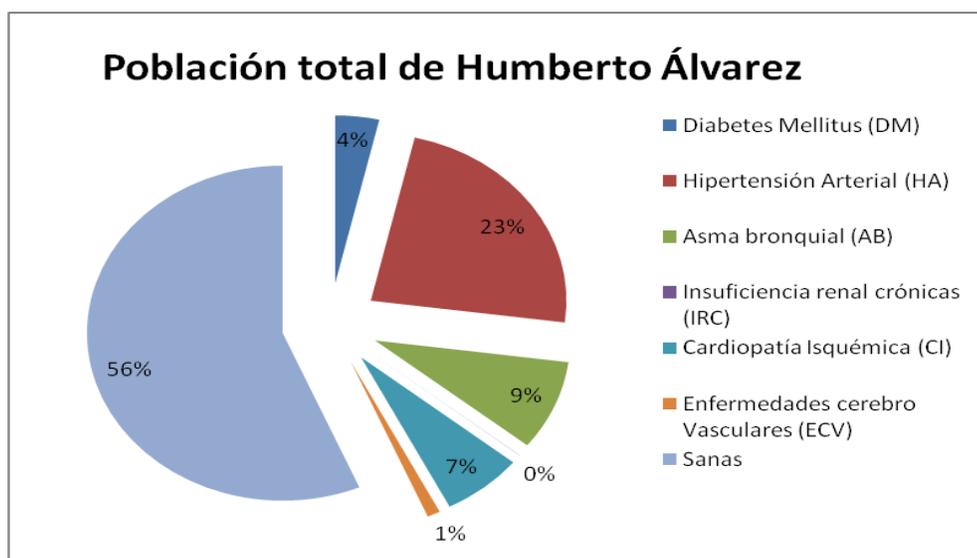


Fig. 3.11. Población total de Humberto Álvarez

(Fuente: Elaboración propia)

En la siguiente tabla se muestra la cantidad de personas tanto del sexo femenino como del masculino en los diferentes lugares donde podría afectar un posible escape de las sustancias tóxicas.

Tabla 3.12 Resumen de la población.

Lugar	Sexo: Masculino	Sexo: Femenino	Total
Varadero	2860	3387	6 247
Santa Marta	7776	7696	15472
Humberto Álvarez	4625	4823	9448
Total	15261	15906	31167

(Fuente: Elaboración propia)

En la tabla anterior se puede apreciar la cantidad de personas de ambos sexos que correrían peligro y que habrían de evacuar en caso de emergencia, donde la mayor población la posee Santa Marta, aunque por cercanía a la zona de peligro el Consejo Popular Humberto Álvarez sería el primer lugar destinado para la evacuación con 9448 personas.

Conclusiones

1. El estudio permitió definir los equipos de mayor riesgo y las áreas de atmósferas peligrosas de mayor impacto en la zona objeto de estudio.
2. Se define que la sustancia más peligrosa con categoría de especial en este sentido es el sulfuro de hidrógeno y la nafta con categoría de alta peligrosidad.
3. Se determinó que los equipos en los cuales existe mayor riesgo de accidente son los tanques de almacenamiento de nafta, las balas de almacenamiento de propano y gas licuado y el separador de entrada a la planta.
4. Las áreas de atmósferas más peligrosas, atendiendo a su distancia longitudinal, radiación y rumbo del viento son: gas licuado en el caso del BLEVE, el propano para el Jet Fire.
5. La nube tóxica de sulfuro de hidrógeno resulta altamente peligrosa para la planta y medianamente peligrosa para sus alrededores, incluido para el poblado de Humberto Álvarez.

Recomendaciones

- Aplicar las medidas de seguridad y protección atendiendo a los resultados obtenidos en esta investigación.

Bibliografía

- Aboud, A. (2008). *Planning of Petrochemical Industry under Environmental Risk and Safety Considerations*. A thesis presented to the University of Waterloo in fulfillment of the thesis requirement for the degree of Master of Applied Science in Chemical Engineering. Canadá.
- Acosta, G. (2008). Evaluación de riesgos en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Aguirre, E (1996) Seguridad integral en las organizaciones.
- Badia, M.D. (2004). Manual de documentos de la Planta de Procesamiento de Crudo. Reglamentos tecnológicos. MINBAS, La Habana.
- Casal, J [et. al]. (2001). Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales, Alfaomega S.A., Bogotá (Colombia)
- Castro, D. (2012). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Correa, A.D. (2004). Manual de Seguridad y Salud Ocupacional. Transportación segura de sustancias peligrosas., MINBAS, La Habana
- Covello, V. & Merkhofer, M. (1993). *Risk Assessment Methods. Approaches for Assessing Health and Environmental Risks, Plenum Press, New York*.
- Cutter, S. (1993). "Living with risk". *Rutgers University. Presented by The British Council. Edward Arnold. London, New York, Melbourne, Auckland*
- Duffus, J.H & Worth, G.J. (1996). *Fundamental Toxicology for Chemists. Royal Society of Chemistry, Londres*.
- Faustman, E. & Omenn, G. (1996). 'Risk Assessment', in *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons, McGraw-Hill, New York*, pp. 75-88.
- Galán. (2002). Manual del sistema de prevención de riesgos laborales, Xixona.
- Gálvez, W. (2001). Desastres y situaciones de emergencias. UNMSM, Lima Perú. [consultado: 1 de febrero del 2013][on line].Disponible en: www.reeme.Arizona.edu

- Hernández, L. (2009). Evaluación de los riesgos en el sistema de Calentamiento de Aire Regenerativo de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiterras” de Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- IUPAC. (1993). *Glossary for chemists of terms used in toxicology*.
- Klaassen, C.D. (1996). *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons*.
- Linares, O. G. (2001). Manual del sistema de prevención de riesgos laborales. Gestión y prevención de riesgos laborales en una industria horchatera. IX seminario de formación.
- López, I. (2010). Evaluación de atmósferas peligrosas en la Zona Industrial de Matanzas ante posibles accidentes. Tesis en opción al título Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba
- Manual de usuario del software ALOHA. (2007). [consultado: 1 de febrero del 2013] *[on line]*. Disponible en: www.fiqm.umcc.cu.
- Maskrey, A. (1994). Comunidad y Desastres en América Latina: Estrategias de Intervención. Capítulo N° 1. En “Viviendo en Riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina”. Tercer Mundo Editores. Colombia. [consultado: 1 de febrero del 2013] *[on line]*. Disponible en: <http://www.cee-chile.org/estudios/quin01.htm>
- Montiel, J. (2001). Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales. Alfa omega S.A., Bogotá (Colombia).
- Morales, Y. C. (2004). Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones. La Habana.
- Moya, B. (2010). Esp. Principal Meteorología. CITMA. Matanzas.
- Muñoz, B. 1992. La Metodología de la Seguridad Industrial, Ministerio de Ciencia y Tecnología.
- Oficina Internacional del Trabajo, OIT. (1993). “Control de Riesgos de Accidentes Mayores. Manual Práctico”. Contribución de la OIT al Programa Internacional PNUMA/OIT/OMS de Seguridad en las Sustancias Químicas (IPCS). Ediciones Alfaomega, S.A. de C.V. México. [consultado: 5 de febrero del 2013] *[on line]*. Disponible en: <http://www.cee-chile.org/estudios/quin01.htm>
- Orozco, J. L. (2007). Guía para la caracterización de las sustancias. Universidad de Matanzas.

- PNUMA/IPCS. (1999). Evaluación de riesgos químicos. Programa Nacional de las Naciones Unidas
- Reglamento REACH. (1907/2006). Requisitos de información toxicológica. *Prévention du risque chimique. Francia*. [consultado: 20 de febrero del 2013]*[on line]*.*Disponible en:* http://www.prc.cnrs-gif.fr/reach/es/toxicological_data.html
- Rodríguez, D. G. (2004). Evaluación de riesgos industriales en la planta de ácido sulfúrico. Proyecto de curso, Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Rodríguez. (2006). Análisis de Riesgos Industriales en la Planta de Tratamiento Químico de Agua de la Central Termoeléctrica “Antonio Guiteras” de Matanzas. Tesis en opción al título de Ingeniero Químico. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos. Cuba.
- Santamaría J.M., Braña P.A. “Análisis y reducción de riesgos en la industria química”. ISBN 84-7100-969-2. Editorial MAPFRE. Madrid, 1994
- Sección Sindical del Sindicato. (2003). Sustancias mutagénicas. La Rábida [consultado: 15 de febrero del 2013] *[on line]*.*Disponible en:* http://www.sindicatounitario.net/rlr/TEXTOS/NI_03/Nota-informativa-SS-n%BA%2019-26-09-03-Mutag%E9nicos-II.pdf
- Sherritt Power Energas. S.A (2007). Análisis de riesgos de incendios y explosión. Planta de gas Varadero.
- Sindicato Independiente de Trabajadores de los Colegios de Bachilleres. (2009). Seguridad e Higiene industrial. [consultado: 15 de febrero del 2013]*[on line]*.*Disponible en:* <http://apuntesdelcobaed.blogspot.com/2009/02/seguridad-e-higiene-industrial.html>
- Smith, K. (1996). “*Environmental Hazards. Assessing Risk and Reducing Disaster*”. *A volume in the Routledge Physical Environment Series. University of Cambridge. Printed in Great Britain*[consultado: 15 de febrero del 2013]*[on line]*.*Disponible en:* http://www.cee-chile.org/estudios/quin_01.htm
- Soldano, A. (2008). Conceptos de riesgos. Provincia Córdoba, Argentina. [consultado: 15 de febrero del 2013]*[online]*.*Disponible en:* <http://www.rimd.org/advf/documentos/421a2bfbe57f2.37678682.pdf>
- Soriano, B. R. (2010). Espec. Principal Meteorología. Aeropuerto Internacional. Juan Gualberto Gómez.

- *Statgraphics Plus 5.1.* (2001). *Software Estadístico.* [consultado: 15 de febrero del 2013][*on line*].*Disponible en:* www.fiqm.umcc.cu.
- Wells, G. (1997). *Major Hazards and their Management.* *Institution of Chemical Engineers.* *Houston-USA.*
- Zagal, J. (1996). Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos. [consultado: 1 de febrero del 2013][*on line*].*Disponible en:* <http://www.cepis.ops.oms.org/tutorial/fulltex/evaluación.html>.2009

Anexos

Anexo#1 Peligrosidad de los productos químicos y su nomenclatura.

Por sus características físico-químicas		
Categoría	Descripción	Pictograma
Explosivas	Las sustancias y preparados sólidos, líquidos, pastosos, o gelatinosos que, incluso en ausencia de oxígeno atmosférico, puedan reaccionar de forma exotérmica con rápida formación de gases y que, en determinadas condiciones de ensayo, detonan, deflagran rápidamente o bajo el efecto del calor, en caso de confinamiento parcial, explotan.	
Comburentes	Las sustancias y preparados que, en contacto con otras sustancias, en especial con sustancias inflamables, produzcan una reacción fuertemente exotérmica.	
Extremadamente Inflamable	Las sustancias y preparados líquidos que tengan un punto de ignición extremadamente bajo y un punto de ebullición bajo, y las sustancias y preparados gaseosos que, a temperatura y presión normales, sean inflamables en contacto con el aire.	
Fácilmente Inflamables	Las sustancias y preparados: 1. Que puedan calentarse e inflamarse en el aire a temperatura ambiente sin aporte de energía, o 2. Los líquidos cuyo punto de ignición sea muy bajo, o 3. Que, en contacto con el agua o con el aire húmedo, desprendan gases extremadamente inflamables en cantidades peligrosas	
Inflamables	Las sustancias y preparados líquidos cuyo punto de ignición sea bajo.	

Anexos# 1. Continuación.

Por sus propiedades toxicológicas		
Categoría	Descripción	Pictograma
Muy Tóxicos	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en muy pequeña cantidad puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.	
Tóxicos	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea en pequeñas cantidades puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.	
Nocivos	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan provocar efectos agudos o crónicos e incluso la muerte.	
Corrosivos	Las sustancias y preparados que, en contacto con tejidos vivos puedan ejercer una acción destructiva de los mismos.	
Irritantes	Las sustancias y preparados no corrosivos que, en contacto breve, prolongado o repetido con la piel o las mucosas puedan provocar una reacción inflamatoria.	
Sensibilizantes	Las sustancias y preparados que, por inhalación o penetración cutánea, puedan ocasionar una reacción de hipersensibilidad, de forma que una exposición posterior a esa sustancia o preparado dé lugar a efectos negativos característicos.	

Anexo #1. Continuación.

Por sus efectos sobre la salud humana		
Categoría	Descripción	Pictograma
Carcinogénicos	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea puedan producir cáncer o aumentar su frecuencia.	
Mutagénicos	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir alteraciones genéticas hereditarias o aumentar su frecuencia.	
Tóxicos para la reproducción (Teratogénicos)	Las sustancias y preparados que, por inhalación, ingestión o penetración cutánea, puedan producir efectos negativos no hereditarios en la descendencia, o aumentar la frecuencia de éstos, o afectar de forma negativa a la función o a la capacidad reproductora.	

Por sus efectos sobre el medio ambiente		
Categoría	Descripción	Pictograma
Peligrosos para el medio ambiente	Las sustancias y preparados que presenten o puedan presentar un peligro inmediato o futuro para uno o más componentes del medio ambiente.	

Anexo #1.Continuación.

Otros tipos de efectos	
Categoría	Descripción
Asfixiantes	ASFIXIANTES SIMPLES Sustancias que desplazan el oxígeno en el aire, disminuyendo su concentración (Nitrógeno, Metano, CO2, Helio, etc.)
	ASFIXIANTES QUIMICOS Impiden la llegada del oxígeno a los lugares requeridos en la sangre. Su acción se presenta de distintas formas.
Alérgenos	Aquellas sustancias químicas que, su contacto con la piel y las mucosas o su entrada en el organismo, provocan una reacción anormal del sistema de defensa inmunológico.

Anexo # 2. Diagrama de flujo del proceso.

Leyenda:

1. Separador INLET

2. Filtro Coaleser

3. Compresores eléctricos

4. Compresor mecánico

5. Torre de absorción

6. Intercambiador de calor

7. Columna de destilación

8. Rehervidor

9. Condensador

10. Unidad de Azufre

11. Bomba

12. Tanque de almacenamiento de amina

13. Bomba

14. Mezclador

15. Intercambiador de calor

16. Torre de impulsora

17. Intercambiador Gas-Gas

18. Chiller

19. Válvula Joules-Thompson

20. LTS(Low Temperature Separation)

21. Bota

22. Bomba de recirculación

23. Compresor

24. Separdor

25. Condensador

26. Tanque de almacenamiento Propano

27. Economizador

28. Deetanizadora

29. Rehervidor tipo Kettle

30. Condensador

31. Debutanizadora

32. Tambor de reflujo

33. Tanque de almacenamiento de LPG

34. Tanque de almacenamiento de Propano

35. Tanque de almacenamiento de Nafta

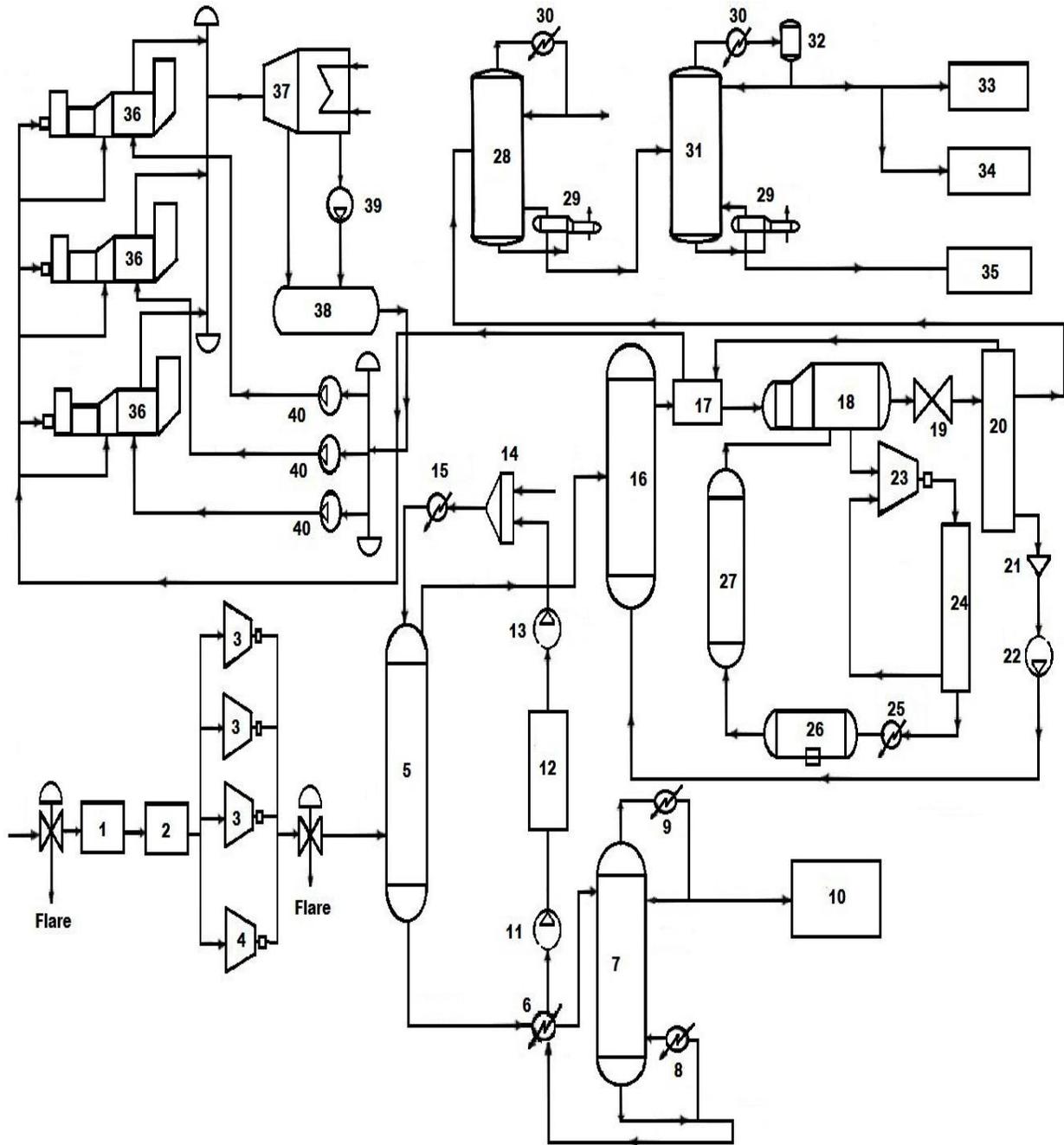
36. Turbinas GT acopladas con HRSG

37. Turbina de vapor ST

38. Tanque de deaeración

39. Bomba de condensado

40. Bomba de agua de alimentación



Anexo # 3. Caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.**Identificación del producto:**

- Nombre del producto-----**Propano**
- Fórmula Química----- C_3H_8
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

Frases R----- R12

Frases S----- S2, S9, S16, S36/37/39, S33

Datos Físicos:

- Apariencia-----gas
- Punto de ebullición----- $-42.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Punto de fusión----- $-187,7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Solubilidad----- soluble en agua
- Densidad----- 1.83 kg/m^3
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 9.6 % Volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad----- 2.0 % Volumen
- Punto de congelación----- $-187.8\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Temperatura de autoignición----- $540.1\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Coeficiente de expansión----- 1-270 (de líquido al gas 14.7 psia)
- Temperatura de inflamación----- $-103.85\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Biodegradabilidad----- --
- Corrosión----- no es tan corrosivo

Formas de control y mitigación en casos de desastres:**Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre:**

❖ Medidas de lucha contra incendio:

- Estos materiales se entregan, almacenan y emplean a temperaturas superiores a su temperatura de inflamación por tanto evite toda clase de llamas, chispas, cigarrillos, etc.
- En caso de fuego: Avisar inmediatamente a los bomberos. Asegurarse de que existe una vía de escape al alcance desde cualquier punto. El fuego en locales cerrados deben ser extinguidos por personal experto provisto.

- Si el gas se ha inflamado, no tratar de apagarlo sino cerrar la válvula y dejar que se extinga por sí solo.
- Tener en cuenta todas las precauciones para mantener fríos los recipientes a fin de evitar la posible explosión debida a la expansión de los vapores producidos por los líquidos al hervir.
- Nota: Los recipientes a presión pueden explotar violentamente si son sometidos a altas temperaturas.
- ❖ Medidas en caso de vertido accidental:
 - Puesto que este material tiene una temperatura de inflamación muy baja, todo derrame o escape supone un gran peligro de incendio o explosión. Si el derrame (o escape) no ha prendido, cerrar la válvula de gas, aislar todas las fuentes de ignición y evacuar el personal. Garantizar una buena ventilación.
 - Los escapes de líquido generan grandes volúmenes de vapores inflamables, más pesados que el aire, que pueden alcanzar fuentes de ignición, por remotas que éstas sean. (por ejemplo: a través del sistema de alcantarillado).
 - Emplear pulverizadores de agua para dispersar el gas o vapor y para proteger al personal dedicado a detener el escape.
 - Puede acumularse vapor en cualquier local cerrado. Si el derrame ha tenido lugar en un local cerrado, garantizar una buena ventilación y comprobar, antes de entrar, que ésta sea lo suficientemente segura.
 - No entrar en una nube de vapor a menos que haya que efectuar un rescate; en ese caso hay que llevar un aparato de respiración autónoma. Utilizar indumentaria protectora.
 - En caso de derrame, contactar con las autoridades competentes. En caso de que se derramen pequeñas cantidades es posible esperar hasta que se evaporen. Los vapores se dispersarán si existe una buena ventilación.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Emplear pulverizadores de agua para dispersar el gas o vapor y para proteger al personal dedicado a detener el escape, además puede usarse polvo seco y dióxido de carbono.

- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: alta

Peligros para la salud:

- ❖ Concentración permisible: No disponible.
- ❖ Exposición permisible: No disponible.
- ❖ Emergencias:
 - Indicaciones generales: Las víctimas inconscientes deben colocarse en posición de reanimación. Controlar la respiración y el pulso. Si fallan la respiración y el pulso, debe asistirse a las víctimas preferiblemente por el método boca a boca y masaje cardíaco. Llamar al médico inmediatamente.
 - Tras Inhalación: Somnolencia y pérdida del conocimiento. Llevar al accidentado inmediatamente a un sitio al aire libre y mantenerlo en reposo. Respiración artificial si este estuviese indicado. Proporcionar asistencia médica.
 - Tras contacto con la piel: Si aparecen quemaduras en frío, mojar con agua y consultar inmediatamente a un médico. Alejar las ropas contaminadas de las fuentes de ignición.
 - Tras contacto con los ojos: En contacto con líquido: congelación. En caso de congelación, aclarar con abundante agua por varios minutos. No se debe quitar la ropa. Proporcionar asistencia médica.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: cualquier parte del cuerpo que tenga contacto con la sustancia.
- ❖ Forma de entrada al organismo: inhalación, piel, ojos.
- ❖ Toxicidad: El propano es non-toxic y es un asfixiador simple. Tiene características anestésicas leves, aunque concentraciones altas pueden causar vértigos. **Ver Tabla 3.2**
 - Irritación ojos: No irritable. El líquido causa quemaduras de frío.
 - Irritación respiratoria: No irritable
 - Carcinógeno: Este producto no ha sido evaluado con ensayos de exposición crónica a largo plazo.
 - Mutágeno: No está considerado como peligro mutagénico.

Datos de reactividad:

- ❖ Estable a temperatura ambiente: No se producirán reacciones de polimerización peligrosas.
- ❖ Materiales a evitar: Evitar el contacto con agentes fuertemente oxidantes.

- ❖ Productos peligrosos de descomposición: La combustión puede generar gases peligrosos, incluyendo monóxido de carbono.

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente -----Cilíndrico (balas) y horizontal
- Dimensiones del recipiente-----d=1.30m, h= 5 m
- Material de construcción-----Acero al carbono
- Protección del recipiente-----no
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización:
 - Válvula ---en la parte de abajo del tanque, en las entradas y salidas.
 - Bomba-----en la parte de lateral del tanque
 - Termómetro-----en el lateral del tanque
 - Manómetro-----en el lateral del tanque
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada-----208 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no
- Condiciones de almacenamiento ----- a P=810.6 kPa y T= 24 °C
- Características de los alrededores del recipiente-----limpio, seco y con gravilla.

Condiciones para su uso en el proceso:

- Uso en el proceso-----Como sustancia refrigerante del gas dulce
- Condiciones en las que se usa la sustancia-----P= 1216 kPa y T= 40 °C
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- 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----- 200 m.
- Diámetro de la tubería-----2 pulg.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Bombas—2
 - Válvulas---- 2, en las entradas y salidas de todos las balas

- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Identificación del producto:

- Nombre del producto-----**Nafta**
- Fórmula Química----- C_5H_{12}
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.

Frases R----- R12, R20/22, R36/37/38

Frases S----- S2, S7, S9, S16, S23, S 28, S29, S33, S36, S61, S62

Datos Físicos:

- Apariencia----- líquida
- Punto de ebullición----- 36 °C
- Punto de fusión----- -129.85 °C
- Solubilidad----- Insoluble en agua. Soluble en alcohol, éter, cloroformo, benceno
- Densidad----- 630 kg/m³
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 8.3 % Volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad----- 1.4 % Volumen
- Punto de congelación----- --
- Temperatura de autoignición----- 260 °C
- Coeficiente de expansión----- --
- Temperatura de inflamación----- - 40 °C
- Biodegradabilidad----- con agua corriente
- Corrosión----- no es corrosivo

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

❖ Medidas de lucha contra incendios:

Aplicar niebla de agua o agua pulverizada para enfriar las superficies expuestas al fuego (por ejemplo: contenedores) y para proteger al personal. Únicamente personal entrenado en lucha contra incendios deberá utilizar las mangueras contra incendios. Para el personal que combate el incendio y expuesto a gases y altas temperaturas se precisa protección respiratoria y ocular, guantes y trajes resistentes al calor.

- ❖ Medidas en caso de vertido accidental:
 - Precauciones personales: Evitar contactos con la piel y los ojos. Eliminar las fuentes de ignición y asegurar una ventilación suficiente. El producto puede dañar el asfalto y hacer las superficies resbaladizas. Evacuar todo el personal innecesario. Allí donde la ventilación sea inadecuada llevar aparatos de respiración.
 - Precauciones medioambientales:
 - Derrames sobre terreno: Eliminar las fuentes de ignición, advertir a los habitantes del lado hacia el que sopla el viento sobre el peligro de incendio/ explosión. Cortar la fuente si es posible. Evitar el acceso a drenajes, letrinas, vías fluviales y al subsuelo. Los vapores de gasolina son más pesados que el aire y se acumulan en drenajes, arroyos etc. Informar a las autoridades sobre contaminaciones del suelo y la vegetación. Tomar medidas para minimizar la contaminación de aguas subterráneas.
 - Derrames sobre el agua: Eliminar las fuentes de ignición. Avisar a las autoridades del puerto. No confinarse en la zona del escape. Retirar (el producto) de la superficie mediante recogedores de superficie o con absorbentes adecuados.
 - Procedimientos de descontaminación: Emplear material absorbente. Almacenar y eliminar el residuo de acuerdo con la reglamentación al respecto.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Espuma, polvo seco, polvo polivalente ABC, dióxido de carbono.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: Alta.

Peligros para la salud:

- ❖ Concentración permisible: 2000 mg/m³
- ❖ Exposición permisible: 500 ppm
- ❖ Emergencias:
 - Ojos: Lavar los ojos inmediatamente con agua durante 15 minutos. Buscar ayuda médica en caso que se produzcan efectos adversos a los ojos.

- Piel: Lavar la piel inmediatamente con agua durante 15 minutos. No utilizar disolventes o diluyentes. Retirar inmediatamente las prendas contaminadas a un área segura debido al peligro de incendio; Asegurarse de eliminar la contaminación. Obténgase ayuda médica en caso de que persista la irritación.
- Inhalación: Si la inhalación de gases irrita la nariz, la garganta o causa tos, salir al aire fresco. Obtener ayuda médica. Si es preciso, administrar respiración artificial (boca a boca) o aplicar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente.
- Ingestión: No provocar vómitos debido al peligro de aspiración. Lavar la boca con agua. Buscar ayuda médica inmediatamente Administrar agua o leche (1/2 litros) para beber.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: cualquier parte del cuerpo que tenga contacto con la sustancia.
- ❖ Forma de entrada al organismo: Por inhalación, ingestión, a través de la piel y los ojos.
- ❖ Toxicidad: **Ver Tabla 3.2**
 - Toxicidad aguda – ingestión: Su ingestión puede inducir el vómito y la posterior introducción en los pulmones, lo que puede causar neumonitis química, que puede ser mortal.
 - Toxicidad aguda – inhalación: Los vapores pueden causar somnolencia y vértigo, además una prolongada exposición a vapores por encima de los valores límites recomendados por la legislación vigente puede producir dolor de cabeza, mareos, náuseas, irritación de ojos y tracto respiratorio superior, alteración del ritmo cardíaco, convulsiones, asfixia, inconsciencia y, en algunos casos, de prolongarse la permanencia a exposiciones muy severas, puede ocasionar la muerte. En general evite inhalar cualquier hidrocarburo.
 - Irritación ocular: ligeramente irritante pero no daña el tejido ocular.
 - Irritación de la piel: irritante. : El contacto prolongado o repetido puede llevar a la deshidratación de la piel, eritema, dermatitis o acné de petróleo. Irritación pero de inferior orden de toxicidad aguda.
 - Sensibilización de la piel: no sensibiliza la piel.
 - Contacto dérmico: el contacto prolongado/repetitivo puede causar la pérdida de la capa superficial de grasa de la piel, lo que puede conducir a dermatitis y

puede hacer que la piel sea más susceptible a irritación y a penetración de otras materias.

- Toxicidad crónica: Además de los efectos mencionados, se puede presentar pérdida de peso, baja de presión sanguínea, pérdida de la memoria y pérdida auditiva.
- Carcinogenicidad: designación de carcinogenicidad A3 (cancerígeno en animales)

Datos de reactividad:

- ❖ Estabilidad: El producto es estable bajo condiciones normales de operación. Inflamable y combustible.
- ❖ Condiciones a evitar: Fuentes de ignición, temperaturas elevadas, agua.
- ❖ Materiales a evitar: Evitar contacto con agentes oxidantes fuertes: cloratos, nitratos y peróxidos.
- ❖ Productos de descomposición peligrosos: No se verán involucrados productos peligrosos a temperaturas de ambiente.
- ❖ Polimerización peligrosa: no ocurre polimerización.
- ❖ Reactividad especial: ninguna
- ❖ Incompatibilidad con otros materiales: Evitar contacto con agentes oxidantes fuertes: cloratos, nitratos y peróxidos

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente -----Cilíndrico y horizontal
- Dimensiones del recipiente-----d=6.55 m, h=6.096 m
- Material de construcción-----Acero al carbono
- Protección del recipiente----- Aterramiento y muro de contención
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización
 - Válvulas---2---- en la entrada y salida del tanque
 - Válvula de presión de vacío-----en la parte de arriba del tanque
 - Válvulas de emergencia-----2---en la parte superior del tanque.
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada-----191 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames,

- Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no
- Condiciones de almacenamiento ----- a P y T atmosférica
- Características de los alrededores del recipiente-----limpio, seco y con gravilla.

Condiciones para su uso en el proceso:

- Uso en el proceso----- es un producto del proceso.
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- P= 1500 kPa y T= 177 °C.
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- 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----- 200 m.
- Diámetro de la tubería----- 2 pulg.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Bomba ---- 2
 - Válvulas---- 2, en las entradas y salidas del tanque
- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Identificación del producto:

- Nombre del producto-----**Gas licuado**
- Fórmula Química----- C₄H₁₀
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
Frases R----- R2, R3, R7, R10, R22, R25, R44, R52, R54, R55, R56.

Datos Físicos:

- Apariencia----- líquidos
- Punto de ebullición----- -32.5 °C
- Punto de fusión----- -167.9°C
- Solubilidad----- Insoluble en agua. Soluble en alcohol, benceno, cloroformo y éter.
- Densidad----- 540 kg/ m³
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 9.3 % Volumen

- IPVS. Límite inferior de explosividad-----1.8% Volumen
- Punto de congelación----- de líquido a presión atmosférica (-187 a -138) °C
- Temperatura de autoignición----- 435 °C
- Coeficiente de expansión----- 1 - 242
- Temperatura de inflamación----- -104 °C
- Biodegradabilidad----- con vapor de agua
- Corrosión----- No

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

❖ Medidas en caso de incendios:

1. Fuga a la atmósfera de gas licuado, sin incendio: Esta es una condición realmente grave, ya que el gas licuado al ponerse en contacto con la atmósfera se vaporiza de inmediato, se mezcla rápidamente con el aire ambiente y produce nubes de vapores con gran potencial para explotar violentamente al encontrar una fuente de ignición. Por lo que podemos tomar las siguientes medidas para prevenir este incidente:

- Asegurar anticipadamente que la integridad mecánica y eléctrica de las instalaciones estén en óptimas condiciones (diseño, construcción y mantenimiento).
- Si aún así llega a fallar algo, deben instalarse con precaución:
 - Detectores de mezclas explosivas, calor y humo con alarmas sonoras y visuales.
 - Válvulas de operación remota para aislar grandes inventarios, entradas, salidas, en prevención a la rotura de mangueras, etc., para actuarlas localmente o desde un refugio confiable (cuarto de control de instrumentos).
 - Redes de aguas contra incendios permanentemente presionadas, con los sistemas de aspersión, hidrantes y monitores disponibles, con revisiones y pruebas frecuentes.
 - Extintores portátiles.

- Personal de operación, mantenimiento, seguridad y contraincendios altamente entrenado y equipado para atacar incendios o emergencias.
- Simulacros operacionales (falla eléctrica, falla de aire de instrumentos, falla de agua de enfriamiento, rotura de manguera, rotura de ducto de transporte, etc.) y contraincendios.
- No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo. Pero deberá enfriar con agua rociada los equipos o instalaciones afectadas por el calor del incendio.

2. Formación de una nube de vapores no confinada, con incendio:

- Evacúe al personal del área y ponga en acción el Plan de Emergencia. En caso de no tener un plan de emergencia a la mano, retírese de inmediato lo más posible del área contrario a la dirección del viento.
- Proceda a bloquear las válvulas que alimentan gas a la fuga y ejecute las instrucciones operacionales o desfogues al quemador, mientras enfría con agua, tuberías y recipientes expuestos al calor (el fuego, incidiendo sobre tuberías y equipos, provoca presiones excesivas). No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo, lastimando al personal involucrado en las maniobras de ataque a la emergencia.

- ❖ Medidas en caso de vertido accidental: Evacuar o aislar el área de peligro. Eliminar toda fuente de ignición. Restringir el acceso a personas innecesaria y sin la debida protección. Usar equipo de protección personal. Ventilar el área. Cortar el flujo de gas.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Polvo químico seco (púrpura K = bicarbonato de potasio, bicarbonato de sodio, fosfato monoamónico) bióxido de carbono, agua en atomizador, espume o dióxido de carbono. Apague el fuego, solamente después de haber bloqueado la fuente de fuga.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: Alta.

Peligros para la salud

- ❖ Concentración permisible: No disponible
- ❖ Exposición permisible: No disponible
- ❖ Emergencias
 - Ojos: La salpicadura de este líquido puede provocar daño físico a los ojos desprotegidos, además de quemadura fría; aplicar de inmediato y con precaución agua tibia. Busque atención médica inmediata.
 - Piel: Las salpicaduras de este líquido provocan quemaduras frías; deberá rociar o empapar el área afectada con agua tibia o corriente. No use agua caliente. Quítese la ropa y los zapatos impregnados. Solicite atención médica inmediata.
 - Inhalación: Si se detecta presencia de gas en la atmósfera, retire a la víctima lejos de la fuente de exposición, donde pueda respirar aire fresco. Si no puede ayudar o tiene miedo, aléjese de inmediato. Si la víctima no respira, inicie de inmediato la reanimación o respiración artificial (RCP = reanimación o respiración cardiopulmonar). Si presenta dificultad al respirar, personal calificado debe administrar oxígeno medicinal. Solicite atención médica inmediata.
 - Ingestión: La ingestión de este producto no se considera como una vía potencial de exposición.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: Cualquier parte del cuerpo que entre en contacto directo con la sustancia.
- ❖ Forma de entrada al organismo: A través de la piel, ojos, inhalación e ingestión.
- ❖ Toxicidad: El gas licuado no es tóxico; es un asfixiante simple que, sin embargo, tiene propiedades ligeramente anestésicas y que en altas concentraciones produce mareos. No se cuenta con información definitiva sobre características carcinogénicas, mutagénicas, órganos que afecte en particular, o que desarrolle algún efecto tóxico. **(Ver tabla 3.2)**

Datos de reactividad:

- ❖ **Estabilidad Química:** Estable en condiciones normales de almacenamiento y manejo.
- ❖ **Condiciones a Evitar:** Manténgalo alejado de fuentes de ignición y calor intenso, así como de oxidantes fuertes.
- ❖ **Productos Peligrosos de Combustión:** Los gases o humos, productos normales de la combustión son bióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. La combustión

incompleta puede formar monóxido de carbono (gas tóxico), ya sea que provenga de un motor de combustión o por uso doméstico. También puede producir aldehídos (irritante de nariz y ojos) por la combustión incompleta.

Condiciones de almacenamiento:

- Forma del recipiente ----- Cilíndrico (balas) y horizontal
- Dimensiones del recipiente----- d=3.277m, h=24.7 m
- Material de construcción----- Acero al carbono
- Protección del recipiente-----
- Existencia de accesorios en el recipiente y su localización
- Fecha de fabricación del recipiente----- 1989
- Cantidad de sustancia almacenada----- 208 m³
- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, Salideros, etc. (definir fecha y cantidad de producto vertido).-----no
- Tipo de averías producidas-----no
- Condiciones de almacenamiento ----- a P y T atmosférica
- Características de los alrededores del recipiente-----limpio y con gravilla

Condiciones para su uso en el proceso:

- Uso en el proceso----- es un producto del proceso
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- T=50-60 °C y P= 1500kPa
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- 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----- 50 m
- Diámetro de la tubería----- 2 pulg
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
- Bomba ---- 2
- Válvulas---- 2, en las entradas y salidas del tanque
- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Identificación del producto:

- Nombre del producto-----**Sulfuro de hidrógeno**
- Fórmula Química-----H₂S
- Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
- Frases R----- R20/R23/R24/R26/R33/R37/R39/R45/R54/R55

Datos Físicos:

- Apariencia----- gas
- Punto de ebullición----- -60.15 °C
- Punto de fusión----- -86.15°C
- Solubilidad----- soluble en agua
- Densidad----- 1.5 kg/m³
- TLV - Límite superior de inflamabilidad----- 45 % volumen
- IPVS. Límite inferior de explosividad----- 4.6 % volumen
- Punto de congelación----- -82.2 °C
- Temperatura de autoignición----- 270 °C
- Coeficiente de expansión----- --
- Temperatura de inflamación----- -82.4 °C
- Biodegradabilidad----- No
- Corrosión----- Si

Formas de control y mitigación en casos de desastres:

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastre.

- ❖ Medidas en caso de incendio:
 - Cortar el suministro, si no es posible y no existe riesgo para el entorno próximo , dejar que el incendio se extinga por si mismo
 - En otros casos apagar con agua pulverizada, polvo, dióxido de carbono o agua corriente.
- ❖ Medidas en caso de derrames y fugas:
 - Evacuar la zona de peligro
 - Consultar a un experto
 - Eliminar todas las fuentes de ignición

- Eliminar gas con agua pulverizada

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad (especificar cantidad y capacidad de mitigación)

- ❖ Producto de control: Agua pulverizada, polvo o dióxido de carbono.
- ❖ Cantidad: Hasta que se haya disipado el peligro.
- ❖ Capacidad de mitigación: Alta

Peligros para la salud:

- ❖ Concentración permisible: 100 ppm
- ❖ Exposición permisible: 20-100 ppm. Evitar todo contacto con la sustancia, aunque los efectos de exposición de corta duración pueden ser: irritación de los ojos y el tracto respiratorio. La inhalación del gas puede originar edema pulmonar. La evaporación rápida del líquido puede producir congelación. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. La exposición puede producir pérdida del conocimiento. La exposición puede producir la muerte. Los efectos pueden aparecer de forma no inmediata.
- ❖ Emergencias
 - Inhalación: Puede causar tos, vértigo, dolor de cabeza, dificultad respiratoria, náuseas, pérdida del conocimiento, dolor de garganta, por lo que se indica es que se busque asistencia médica.
 - Piel: Provoca congelación por lo que se recomienda aclarar con abundante agua, no quitar la ropa y proporcionar asistencia médica.
 - Ojos: Enrojecimiento, dolor, quemaduras profundas graves por lo que se debe enjuagar con abundante agua durante varios minutos y después proporcionar asistencia médica.
- ❖ Partes del cuerpo que afecta: cualquier parte del cuerpo que tenga contacto con él.
- ❖ Forma de entrada al organismo: A través de la piel, ojos, ingestión e inhalación.
- ❖ Toxicidad: Puede producir irritación, además puede tener efectos cancerígenos.

Datos de reactividad:

- ❖ Estabilidad: estable
- ❖ Polimerización peligrosa: no
- ❖ Descomposición o derivados peligrosos: ninguno

Condiciones para su uso en el proceso:

- Uso en el proceso----- es un producto del proceso y se usa para la producción de azufre.
- Condiciones en las que se usa la sustancia----- $P= 230 \text{ Kpa}$ y $T=26.7 \text{ }^\circ\text{C}$
- Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias-----no
- Material de construcción de los equipos donde es usada----- acero inoxidable
- Longitud de tubería que conduce la sustancia desde el punto de almacenamiento hasta el equipo donde es usada----- 200m.
- Diámetro de la tubería----- 2pulg.
- Cantidad de accesorios y tipos en esa tubería (señalar que posición ocupa cada accesorio en la tubería o sea a qué distancia están ubicados con respecto al tubo de almacenamiento)
 - Válvulas: 3
 - Válvula de emergencia
 - Alarma por nivel high-high
- Protección del sistema de tuberías----no tiene

Anexo # 4. Clasificación de las sustancias según las frases R y S.**Indicación de riesgos específicos**

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

Anexo #4. 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 # 4. 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 # 4. 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	Evítese la exposición - obtener instrucciones especiales antes de su uso
S54	Obtener el consentimiento de las autoridades de control de la contaminación antes de descargar en plantas de tratamiento de aguas residuales
S55	Tratar con las mejores técnicas disponibles antes de descargar en desagües o ambientes acuáticos

Anexo#5 Comportamiento de las variables climatológicas para la zona objeto de estudio en la década 2000-2009.

Tabla 5a. Comportamiento de los valores medio de la nubosidad para el período estudiado.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2000	5	4	4	3	3	4	5	4	5	5	4	3
2001	4	4	4	3	3	5	4	4	3	5	4	4
2002	4	3	4	4	3	4	5	5	5	4	4	5
2003	4	5	4	3	4	5	5	4	5	3	5	4
2004	3	5	5	4	5	5	5	5	4	3	5	4
2005	5	4	5	3	4	5	4	5	4	5	5	4
2006	5	4	4	3	4	5	5	5	4	4	5	3
2007	4	5	4	3	5	3	5	4	5	4	4	5
2008	3	3	4	4	5	4	4	3	4	4	4	4
2009	4	4	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4
Media	4	4	4	3	4	5	5	5	5	4	5	4
Coef de Var.	17.9 967	17.99 67	13.84 5	15.1 882	21.35 6	15.71 35	10.27 76	15.8 91	15.89 1	18.7 812	11.71 21	16.66 67
Desv. estand	0.73 78	0.737 8	0.567 6	0.51 63	0.875 5	0.707 1	0.483	0.69 92	0.699 2	0.78 88	0.527	0.666 6

Tabla 5b. Comportamiento de los valores medio de la temperatura máxima para el período estudiado.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2000	26	25.7	28	29.6	30.5	30.4	31.3	31.2	30.7	29.2	27.2	26.4
2001	27	26.8	27.5	28.7	30.9	29.7	31.9	30.9	31.6	29	26.5	26.6
2002	26.5	25.7	28	29.9	29.7	30.7	30.8	31.9	30.8	28.5	27.2	26.5
2003	25.4	25.9	28.4	30.3	30.5	30.8	31.9	31.8	29.5	28.8	27.6	27.4
2004	25.5	26.5	28.2	29.3	31.8	29.5	31.5	30.9	30.7	29.5	27.9	27.3
2005	26.7	25.8	28.8	30.9	30.8	31.8	30.9	31.8	31.7	30.5	26.6	25.8
2006	25	27	28.4	28.9	30.9	31.5	31.8	30.9	29.9	30.6	27.5	26.9
2007	26.6	24.5	28	29.2	31.6	29.9	31.6	30.9	30.9	29.8	28.8	27
2008	25.9	25.9	28.1	29.8	30.9	30.5	30.9	30.8	31.9	29.5	26	26.5
2009	26.9	25.4	28.6	30.5	31.8	30.6	31.7	31.9	30.5	30	27.9	25
Media	26.15	25.92	28.2	29.71	30.94	30.54	31.43	31.3	30.82	29.54	27.32	26.54
Coef de Var.	2.64 48	2.780 8	1.305 6	2.392 9	2.117 7	2.3972	1.36 68	1.55 06	2.48 42	2.35 72	2.97 26	2.69 49
Desv. estand	0.69 16	0.720 8	0.368 1	0.710 9	0.655 2	0.7321	0.42 95	0.48 53	0.76 56	0.69 63	0.81 21	0.71 52

Anexo#5 Continuación.

Tabla 5c. Comportamiento de los valores medio de la temperatura media para el período estudiado.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2000	20.7	20.6	22.6	24.3	25.5	25.8	26.4	26.2	25.6	24.7	22.8	21.3
2001	22.6	21.7	23	25.4	25.8	28	27.4	25	24.8	24.6	22.8	22.7
2002	19.8	19.6	24	25.6	26.6	24.5	27	26.6	26.4	23.5	19.8	20.8
2003	20.1	20.2	22.8	24.9	26.4	24.9	26	25.9	26.6	23.8	22	21.5
2004	19.9	21.2	19.8	22.6	24.8	25.4	26.6	26.9	25.8	25.7	23.8	20.8
2005	19.8	19.7	23.8	25.7	24.3	25.8	25.8	26.7	24.6	25.7	24	19.8
2006	21.2	20.5	22	22.8	26.8	26.5	26.2	25.5	26.8	25.6	23.5	22.6
2007	20.8	21	24.1	23.5	23.9	24.2	25	25.4	23.9	24.9	23.6	19.9
2008	22.4	21.4	19.9	24.6	24.9	25.7	26	26.5	24.9	23.8	20.9	21.6
2009	18.8	19.9	23.6	22.9	25.5	26.8	27	27	25.7	23.9	24.1	20.9
Media	20.6	20.5	22.5	24.2	25.4	25.7	26.3	26.1	25.5	24.6	22.7	21.2
Coef de Var.	5.8109	3.5618	6.9811	4.9603	3.8464	4.3965	2.6557	2.6354	3.7117	3.4507	6.3009	4.5940
Desv. estand	1.1361	0.6958	1.4942	1.1402	0.9288	1.0745	0.6637	0.6546	0.8982	0.8067	1.3587	0.9235

Tabla 5d. Comportamiento de los valores medio de la temperatura mínima para el período estudiado.

Año/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
2000	15.6	15.5	17	18.5	20.6	21.7	21.8	21.7	21.6	20.7	18.6	16.5
2001	16.2	16.2	16.8	18.4	19.5	22.2	23.5	22.5	21.8	19.3	18.7	16.6
2002	16.1	16.1	18.5	18.5	21.3	22.5	22.5	21.7	21.6	21.3	18.4	17.2
2003	15.8	15.5	17	18.5	20.1	21.6	23.1	20.8	21.7	20.1	19.5	16.5
2004	15.9	15.4	16.6	19.5	20.3	21.7	20.9	21.9	20.8	20.5	19.3	15.8
2005	15.3	14.8	17.3	17.8	21.7	20.9	21.7	22	22.5	21.5	17.6	15.9
2006	14.9	15.4	16.8	17.9	19.8	20.8	20.8	22.8	21.9	20.9	18.5	17.2
2007	15.6	15.9	17.1	18.9	21.6	22.8	21	20.9	20.9	21.4	18.9	16.6
2008	15.8	16	17.5	19.2	21.5	21.9	21.9	21.6	22.5	21.7	19.5	16.7
2009	16	15.2	16.9	18.8	20.5	22	22	22.2	21.8	20.6	18.2	17
Media	15.7	15.6	17.1	18.6	20.7	21.8	21.9	21.8	21.7	20.8	18.7	16.6
Coef de Var.	2.487	2.834	3.149	2.833	3.822	2.887	4.146	2.887	2.573	3.511	3.222	2.868
Desv. estand	0.391	0.4422	0.5400	0.5270	0.790	0.6297	0.9089	0.6297	0.5586	0.7302	0.6033	0.4760

Anexo#5 Continuación.

Tabla 5e. Comportamiento de los valores medio de la humedad relativa para el período estudiado.

Año/Meses	Ene	Feb	Mar	Abri	May	Jun	Jul	Ago	Sep t	Oct	Nov	Dic
2000	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
2001	79	74	74	74	77	84	79	83	83	84	82	78
2002	78	76	74	72	78	83	80	81	83	83	81	80
2003	79	74	75	74	79	82	83	83	84	84	82	79
2004	77	75	73	73	77	82	81	83	85	85	81	78
2005	78	75	74	73	78	84	82	82	83	83	83	80
2006	78	76	75	72	79	83	81	81	84	83	80	80
2007	78	75	73	74	79	83	82	82	84	85	79	78
2008	76	74	73	72	78	82	81	81	85	85	80	79
2009	79	76	75	73	77	84	80	82	85	84	81	79
Media	78	75	74	73	78	83	81	82	84	84	81	79
Coef de Var.	1.208 7	1.088 6	1.103 3	1.118 4	1.046 7	0.983 7	1.425 5	0.995 7	0.97 2	0.97 2	1.42 55	1.0335
Desv. estand	0.944 8	0.816 4	0.816 4	0.816 4	0.816 4	0.816 4	1.154 7	0.816 4	0.81 64	0.81 64	1.15 47	0.8164

Tabla 5f. Comportamiento de los valores medio de la velocidad y frecuencia de ocurrencia de los vientos para la década 2000 - 2009.

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

Anexo # 6. Efectos del H₂S por concentraciones.

1 ppm	Se puede oler.
10 ppm	Límite máximo tolerable durante 8 horas continuas de trabajo o punto en el cual hay que colocarse la máscara de oxígeno.
20 ppm	Limite de exposición cero.
100 ppm	Se deja de oler de 2-15 minutos (puede arder la garganta, causar dolor de cabeza y nausea).
200 ppm	Se deja de oler rápidamente (arde la garganta y los ojos).
500 ppm	Se pierde el razonamiento, equilibrio y coordinación. En 2-15 minutos aparecen problemas respiratorios y se necesita resucitación inmediata.
700 ppm	Inmediata pérdida del conocimiento, convulsiones, pérdida de control de esfínteres y vientre.
1000 ppm	Se interrumpe la respiración y se alcanza la muerte a menos que se practique resucitación inmediata.
+1000 ppm	Inmediata pérdida del conocimiento. Provoca la muerte o daño cerebral permanentemente a menos que se rescate inmediatamente.

Fuente: Irving (2003)

Anexo #7 Tablas de resultados del análisis de riesgos por HAZOP

Tabla 7a.: HAZOP en el tanque de almacenamiento de Nafta.

Tanque de almacenamiento de Nafta a presión y temperatura atmosférica.					
Palabra Guía	Variable	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias Posibles	Medidas correctoras
Más	Flujo	Aumento del flujo dentro del tanque.	Perturbación en el fondo de la torre destiladora.	Aumento del flujo de evacuación por las válvulas de presión y vacío.	Comprobar la capacidad de evacuación de las válvulas de presión y de vacío. Cumplir los mantenimientos previstos a las válvulas.
Menos	Flujo	Disminución del flujo dentro del tanque.	Fuga en la línea de la unidad de destilación.	Disminuye la capacidad de almacenamiento de nafta para la venta.	Comprobar la capacidad de evacuación de las válvulas de presión y de vacío. Cumplir los mantenimientos previstos a las válvulas.
Más	Presión	Aumento de la presión en el equipo.	Bloqueo de la válvula de presión y vacío por la parte de alta presión.	Aumento de la presión, rotura del equipo.	Aislar el tanque y chequear la válvula.
Menos	Presión	Disminución de la presión en el equipo.	Bloqueo de la válvula de presión y vacío por la parte de vacío.	Implosión del recipiente.	Aislar el tanque y chequear la válvula.
Más	Temperatura	Aumento de la temperatura.	Aumento de la temperatura ambiental o un incendio en los alrededores del tanque.	Aumento de la presión dentro del tanque lo cual provoca un aumento de la evaporación y el caudal de vapores por las válvulas de presión y vacío.	Chequear las válvulas de presión y vacío según plan de mantenimiento.

Más	Nivel de Nafta	Aumento del nivel de Nafta por encima de la altura operacional.	Descuido de los operadores al seguir recibiendo producto sin controlar el nivel del tanque. Falla del trasmisor de nivel.	Desbordamiento y derrame del producto. Pérdida del producto. Aumenta el riesgo de incendio.	Parar la alimentación de producto hacia el tanque. Chequear trasmisor.
-----	----------------	---	--	---	---

Anexo #7 Continuación.

Tabla 7b.: HAZOP en las balas de almacenamiento de Gas Licuado.

Balas de almacenamiento de Propano.					
Palabra Guía	Variable	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias Posibles	Medidas correctoras
Más	Flujo.	Aumento del flujo de propano.	Perturbación en la torre destiladora.	Pérdida de calidad del producto.	Bloquear el flujo hacia el recipiente y acondicionar el perfil de la torre destiladora.
Menos	Flujo.	Disminución del flujo de propano.	Perturbación en la torre destiladora.	Menor cantidad de producto a almacenar.	Control sobre la unidad de destilación.
Más	Temperatura	Aumento de la temperatura.	Cambios ambientales o incendio.	Aumento de la presión y posible colapso y explosión del recipiente.	Control de la presión. En caso de incendio extinguir mediante los monitores instalados.
Más	Nivel	Aumento del nivel de Propano por encima de la altura operacional.	Falta de chequeo operacional para evitar que la bala supere los 80 %.	Aumento de la presión y posible colapso y explosión del recipiente.	Chequeo del nivel de las balas. Activar válvulas de seguridad.

Anexo #7 Continuación.

Tabla 7c.: HAZOP en las balas de almacenamiento de Gas Licuado.

Balas de almacenamiento de Gas Licuado.					
Palabra Guía	Variable	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias Posibles	Medidas correctoras
Más	Flujo	Aumento del flujo.	Aumento brusco de la producción por perturbación en la torre destiladora.	Aumento de la presión dentro del recipiente, disminución de la calidad del producto y posible rotura y explosión del tanque.	Control sobre la unidad de destilación.
Más	Presión	Aumento de la presión.	Perturbación en la torre o incendio.	Aumento de la presión, rotura y explosión del equipo.	Control sobre el proceso de destilación Aislar la bala En caso de incendio enfriar el equipo. Chequeo del buen funcionamiento de las válvulas de seguridad.
Menos	Presión	Disminución de la presión.	La bala se quedo sin presión debido a la venta. El drenaje quedo abierto y se despresurizó la bala.	Se dificulta la venta del producto.	Chequear los drenajes. Presurizar la bala.
Más	Temperatura	Aumento de la temperatura.	Perturbación en la torre o incendio.	Aumento de la presión, rotura y explosión de la bala.	Control sobre el proceso de destilación. Aislar la bala. En caso de incendio enfriar el equipo. Chequeo del buen funcionamiento de las válvulas

					de seguridad.
Más	Nivel	Aumento del nivel.	El transmisor no funciona El operador no chequeó el nivel de la bala.	No hay espacio disponible para controlar la presión del recipiente, rotura y/o explosión del recipiente.	Chequeo del transmisor de nivel. Control del nivel de las balsas.

Anexo #7 Continuación.

Tabla 7d.: HAZOP en el separador de entrada a la planta.

Análisis HAZOP en el separador de entrada a la planta (H2S).					
Palabra Guía	Variable	Desviación	Causas Posibles	Consecuencias Posibles	Medidas correctoras
Más	Temperatura	Aumento de la temperatura del flujo de entrada.	Aumento de la temperatura en el flujo de gas crudo que viene del campo.	Aumento del volumen del gas aumentando la presión y el flujo, aumentando las perturbaciones en las unidades de la planta de gas.	Colocar sensor de temperatura, presión y flujo en la línea de entrada.
Más	Tiempo de residencia	Aumento del tiempo de contacto entre las fases.	Obstrucción en la línea de descarga.	Incremento de la presión. Disminución del flujo de gas hacia la planta. Disminución de la energía generada hasta la total parada de la planta.	Colocar sensor de temperatura, presión y flujo en la línea de entrada. Aislar el equipo para posible reparación de la línea.
Más	Presión	Aumento de la presión en el equipo.	Aumento de la presión en el flujo de gas crudo que viene del campo.	Aumento de las perturbaciones en las unidades de la planta de gas.	Colocar sensor de temperatura, presión y flujo en la línea de entrada. Implementar control en válvula de alivio.
Menos	Presión	Disminución de la presión en el equipo.	Afectación en los centros colectores del campo.	Disminución de la energía generada hasta la total parada de la planta.	Colocar sensor de temperatura, presión y flujo en la línea de

Anexos

					entrada. Implementar línea de comunicación con el despacho del Cupet para conocer situación en el campo.
--	--	--	--	--	---

Anexo #8 Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento para las cuatro sustancias objeto de estudio, en el caso de que ocurra un BLEVE.

Tabla 8a. Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento.

Gas Licuado.	Distancia: (m)											
Dirección/ Mes	Enero	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E	566	568	564	562	556	555	566	554	554	566	561	563
ENE	566	568	564	562	558	556	556	554	554	558	563	565
ESE	564	566	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
N	564	566	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
NE	564	566	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
NNE	564	554	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
NNW	564	566	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
NW	564	566	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
S	564	566	562	560	556	555	554	554	554	556	561	563
SE	566	568	564	560	556	555	556	554	554	556	563	565
SSE	566	568	564	560	558	556	554	554	556	558	563	563
SSW	566	566	564	562	558	555	556	555	556	556	561	563
SW	566	568	562	562	556	555	554	555	554	558	563	565
W	566	568	564	562	558	555	556	554	556	558	561	565
WNW	566	566	562	562	556	556	556	555	556	558	563	563
WSW	564	568	564	560	5558	556	556	554	554	558	561	563

Tabla 8b. Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento.

Nafta.	Distancia: (m)											
Dirección/ Mes	Enero	Feb	Mar	Ab	Ma	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E	560	560	556	555	551	549	549	548	549	552	557	559
ENE	558	560	556	554	551	550	549	549	549	552	557	559
ESE	560	561	556	555	551	550	549	549	549	552	555	559
N	560	561	558	554	551	549	548	549	548	550	557	559
NE	560	561	558	554	551	549	549	549	549	552	555	559
NNE	560	561	559	554	551	550	549	549	549	552	557	559
NNW	558	561	556	555	551	550	549	549	548	550	557	559
NW	560	560	558	555	551	550	549	549	549	552	557	559
S	560	561	558	555	551	550	549	551	548	552	557	559
SE	560	561	558	555	551	549	548	549	549	552	555	559
SSE	560	561	559	555	553	550	549	548	551	552	557	559
SSW	560	561	556	555	551	550	549	548	549	551	557	559
SW	561	561	558	555	553	550	549	549	549	552	557	559
W	561	563	559	557	550	552	561	549	551	552	558	559
WNW	561	560	558	557	553	550	549	551	551	553	555	557
WSW	561	563	559	555	553	552	559	551	551	553	558	560

Anexo #8 Continuación.

Tabla 8c. Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento.

Propano.	Distancia: (m)											
Dirección/ Mes	Enero	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E	544	545	542	540	536	534	534	533	534	536	541	543
ENE	544	545	542	540	536	534	534	533	534	536	541	543
ESE	544	545	542	540	536	534	534	533	534	536	541	543
N	544	545	542	540	536	534	534	533	534	536	541	543
NE	544	545	542	540	536	534	534	533	534	536	541	543
NNE	544	545	542	540	536	534	536	533	534	536	541	543
NNW	544	549	544	541	536	534	538	537	534	538	542	547
NW	548	545	542	541	537	535	534	534	535	536	541	543
S	544	546	542	541	537	538	536	534	537	538	541	545
SE	548	549	550	543	536	536	534	541	535	543	547	545
SSE	544	547	546	545	536	538	538	535	535	537	541	547
SSW	546	547	544	540	537	538	536	535	535	538	545	545
SW	546	547	544	541	537	534	543	535	534	536	541	543
W	546	549	542	541	539	536	538	533	535	538	542	547
WNW	548	547	542	540	541	540	536	535	539	544	542	549
WSW	550	551	546	543	541	542	538	537	539	538	545	549

Anexo #9 Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento para las cuatro sustancias objeto de estudio, en el caso de que ocurra un Jet Fire.

Tabla 9a. Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento.

Gas Licuado.	Distancia: (m)											
	Dirección/ Mes	Enero	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
E	157	157	166	156	155	155	155	154	155	155	156	157
ENE	157	158	157	156	155	155	155	155	155	155	156	157
ESE	157	157	156	156	155	154	154	154	154	154	155	156
N	156	156	156	155	154	154	154	154	154	154	154	155
NE	157	157	156	156	155	155	155	154	154	154	155	156
NNE	157	157	156	156	155	154	154	154	154	155	155	156
NNW	156	157	156	155	154	154	154	154	154	154	155	156
NW	156	156	156	155	154	154	154	154	154	154	154	155
S	156	156	155	154	153	153	153	153	153	153	154	155
SE	156	157	156	155	154	154	154	154	154	154	154	155
SSE	156	156	155	155	154	153	153	153	153	153	154	155
SSW	155	156	155	154	153	153	153	153	153	153	153	155
SW	155	155	154	154	153	152	152	152	152	152	153	154
W	155	156	155	154	153	153	153	153	153	153	153	154
WNW	156	156	155	155	154	154	154	154	154	154	154	155
WSW	155	155	154	154	153	152	152	152	152	152	153	154

Tabla 9b. Resumen de las distancias alcanzadas en diferentes direcciones del viento.

Propano.	Distancia: (m)												
	Dirección/Mes	Enero	Feb	Mar	Ab	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
E	203	203	202	202	200	200	200	200	200	200	200	202	203
ENE	203	204	203	202	201	200	200	200	200	200	201	202	203
ESE	203	203	202	201	200	202	200	199	199	199	200	202	202
N	202	203	202	201	200	199	199	199	199	199	200	201	202
NE	203	203	202	202	200	200	200	200	200	200	200	202	203
NNE	203	203	202	201	200	200	200	199	199	199	200	202	203
NNW	203	203	202	201	200	200	199	199	199	199	200	202	202
NW	202	203	202	201	200	199	199	199	199	199	200	201	202
S	202	202	201	201	199	199	199	199	199	199	199	201	202
SE	202	203	202	201	200	199	199	199	199	199	200	201	202
SSE	202	202	201	201	199	199	199	199	199	199	199	201	202
SSW	202	202	201	200	199	199	198	198	198	198	199	201	201
SW	201	202	200	200	199	198	198	198	198	198	199	200	201
W	202	202	201	200	199	199	199	198	198	198	199	201	201
WNW	202	203	202	201	200	199	199	199	199	199	200	201	202
WSW	201	202	201	200	199	198	198	198	198	198	199	200	201

Anexo #10 Se muestra la concentración real del componente en el centro del área amarilla por ser la que alcanza una zona poblacional.

Tabla 10 a. Resumen de la dispersión de la nube tóxica de H₂S con el viento de dirección ESTE y velocidad de 4.28 m/s.

Mes	Concentración exterior(ppm)	Largo (m)
Enero	ERPG-100	154
	ERPG-30	288
	ERPG-0.1	5700
Febrero	ERPG-100	154
	ERPG-30	288
	ERPG-0.1	5700
Marzo	ERPG-100	154
	ERPG-30	289
	ERPG-0.1	5700
Abril	ERPG-100	155
	ERPG-30	290
	ERPG-0.1	5700
Mayo	ERPG-100	155
	ERPG-30	291
	ERPG-0.1	5700
Junio	ERPG-100	155
	ERPG-30	290
	ERPG-0.1	5700
Julio	ERPG-100	155
	ERPG-30	291
	ERPG-0.1	5700
Agosto	ERPG-100	155
	ERPG-30	291
	ERPG-0.1	5700
Septiembre	ERPG-100	155
	ERPG-30	291
	ERPG-0.1	5700
Octubre	ERPG-100	154
	ERPG-30	290
	ERPG-0.1	5700
Noviembre	ERPG-100	154
	ERPG-30	289
	ERPG-0.1	5700
Diciembre	ERPG-100	154
	ERPG-30	288
	ERPG-0.1	5700