

Universidad de Matanzas
Sede “Camilo Cienfuegos”
Facultad de Ciencias Empresariales
Departamento Industrial



Tesis en opción al título de Máster en Ergonomía y Seguridad
y Salud en el Trabajo.

Título: Evaluación de los Riesgos Tecnológicos en la Planta
de Procesamiento de Crudo de la Empresa de Perforación y
Extracción de Petróleo del Centro.

Autor: Ing. Yulay Camejo Argüelles

Tutor: M. Sc. Azucena González Verde

Consultante: Dr. C Jesús Luis Orozco

Matanzas, 2021

PENSAMIENTO

“Vale pero millones de veces más la vida de un solo ser humano que todos los tesoros del hombre más rico de la tierra”.

Ernesto Ché Guevara

AGRADECIMIENTOS

La parte más emotiva del presente trabajo es esta, pues brinda la posibilidad de dejar plasmados mis más sinceros agradecimientos a todos los seres que de una forma u otra han colaborado y ayudado al desarrollo de este sueño que se va tornando realidad.

- A Dios por estar siempre presente.
- A mi tutora M. Sc. Azucena González Verde por la ayuda que me ha brindado y su incansable disponibilidad, sin tener en cuenta día, hora, ni lugar, por lo que estoy eternamente agradecido.
- A toda mi familia que sin duda me ha ayudado y brindado las fuerzas necesarias para seguir adelante, en especial a mis padres.
- A mi esposa por su paciencia, comprensión y ayuda, además de estar siempre a mi lado.
- A mis profesores, mis amigos y amigas por haberme enseñado y dotado de herramientas indispensables para enfrentar la vida de una forma más profesional.
- A mis hijos que son mi razón de ser.
- A mis compañeros de trabajo por su ayuda.
- Un agradecimiento especial al profesor Dr. Jesús Luis Orozco quien me apoyo y brindo su ayuda incondicional en todo momento.

A todos muchas gracias

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

- A mis padres por todo su amor y comprensión.
- A mi esposa por compartir su vida conmigo.
- A mis preciosos hijos.
- A mi tutora por su entrega y dedicación.

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD

Yo, Yulay Camejo Argüelles declaro que soy el único autor del presente trabajo de diploma en opción al título de Máster en Ergonomía y Seguridad y Salud en el Trabajo, en virtud de lo cual autorizo a la Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos” y a la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro que usen esta investigación con la finalidad que deseen.

Yulay Camejo Argüelles

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del tribunal

Miembro del tribunal

Miembro del tribunal

Dado en Matanzas, el ____ de _____ del 2021

RESUMEN

El presente trabajo se realiza en la Planta de Procesamiento de Crudo correspondiente a la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro con el objetivo de evaluar los posibles escenarios de riesgos tecnológicos y las afectaciones que pueden tener lugar en la Planta de Procesamiento de Crudo. En el mismo se determinan los escenarios de riesgos que pueden ocurrir en la Segunda Etapa de Separación (SES), y los tanques de nafta y sus consecuencias. Además, se evalúan mediante el *Software ALOHA* las áreas de atmósferas peligrosas para los distintos escenarios. Se determinan las afectaciones humanas por efectos de radiación y sobrepresión. Para la investigación se utilizaron métodos de análisis cualitativos y cuantitativos como: Análisis Histórico de Accidentes y Árbol de Sucesos, el método estadístico de las ecuaciones Probit, se aplicó el método de expertos, se realizaron entrevistas a los trabajadores, revisión de documentos y procedimientos, uso de una lista de chequeo, se usaron diferentes software, Microsoft Office (Word, Publisher, Excel, Visio), el Paint, AutoCAD y el software *ALOHA*.

SUMMARY

The present work is carried out in the Plant of Prosecution of Raw corresponding to the Company of Perforation and Extraction of Petroleum of the Center with the objective of evaluating the possible scenarios of technological risks and the affectations that can take place in the Plant of Prosecution of Raw. In the same one the scenarios of risks are determined that can happen in the Second Stage of Separation (SES), and the naphtha tanks and their consequences. Also, they are evaluated by means of the Software ALOHA the areas of dangerous atmospheres for the different scenarios. The human affectations are determined by radiation effects and over pressure. For the investigation methods of qualitative and quantitative analysis were used as: Historical analysis of Accidents and Tree of Events, the statistical method of the equations Probit, the method of experts was applied, they were carried out interviews to the workers, revise of documents and procedures, use of a checkup list, they were used different software, Microsoft Office (Word, Publisher, Excel, Visio), the Paint, AutoCAD and the software ALOHA.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	8
1.1 Gestión de Riesgos.	8
1.2 Riesgos Laborales.	9
1.2.1 Clasificación de los riesgos	10
1.3 Definición de Accidente, Emergencia, Desastre	11
1.4 Riesgos de Origen Tecnológicos.	14
1.4.1 Incendio y Explosión.....	14
1.4.2 Principales escenarios de riesgos.....	15
1.5 Métodos de análisis y evaluación de riesgos en las plantas de procesos tecnológicos... 21	
1.5.1 Métodos de análisis cualitativos y cuantitativos.....	21
1.6 Evaluación de atmosferas peligrosa. Programas informáticos más utilizados.	28
1.6.1 Método para la determinación de afectaciones humanas. Ecuaciones Probit.....	29
Conclusiones parciales	29
CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA ENTIDAD. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	30
2. Caracterización de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro.	30
2.1.1 Caracterización de la Planta de Procesamiento de Crudo.	31
2.2 Propuesta del procedimiento a seguir para la evaluación y control de los riesgos tecnológicos en la Planta de Procesamiento de Crudo.....	36
2.2.1 Antecedentes de la investigación.....	36
2.3 Caracterización de las sustancias sujetas a análisis.	38
2.4 Determinación de las áreas para desarrollar el trabajo.....	40
2.5 Formación del equipo de trabajo	40
2.6 Descripción de las técnicas de análisis y evaluación a utilizar.	42
2.6.1 Metodología para el Análisis Histórico de Accidentes.	42
2.6.2 Metodología para el Árbol de Sucesos.....	42
2.6.3 Software ALOHA. Características Fundamentales	45
2.6.4 Método “Probit”	49
Conclusiones parciales	52
3. CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	53
3.1 Selección y formación del equipo de trabajo.....	53
3.2 Análisis de los resultados.	54

3.2.1	Análisis del Árbol de Sucesos para un escape de gas natural en la SES.	54
3.2.2	Análisis del Árbol de Sucesos para un derrame de nafta en el almacén de nafta de la ECO. 60	
3.3	Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas mediante ALOHA.....	64
3.3.1	Consideraciones a tener en cuenta para la evaluación de las áreas de atmósferas peligrosas mediante el Software ALOHA.....	64
3.3.2	Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas para el escenario Nube Tóxica. 65	
3.3.3	Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas para el escenario VCE... 70	
3.3.4	Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por un Jet Fire en la SES.73	
3.3.5	Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por un Pool Fire en el almacén de nafta.....	75
3.3.6	Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por la BLEVE en el almacén de nafta.....	76
3.4	Análisis de resultados alcanzados por “Probit”.	77
3.4.1	Análisis de vulnerabilidad por efectos de radiación térmica.	77
3.4.2	Análisis de vulnerabilidad por efectos de explosión.	83
3.5	Análisis Económico.....	85
3.6	Revisión y actualización del Plan de Reducción de Desastre (PRD).....	85
	Conclusiones parciales	85
	CONCLUSIONES	86
	RECOMENDACIONES	87
	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	88
	ANEXOS	92

INTRODUCCIÓN

La especie humana es una de las más desprotegidas del reino animal, a través de un largo proceso evolutivo y con el desarrollo de la conciencia fue creando disímiles formas de protección y adaptación al medio ambiente hostil que la rodea. Así mismo hubo de asimilar las diferentes transformaciones sociales, desde la comunidad primitiva hasta los tiempos modernos, soportando toda la agresividad de cada estadio social. Además de enfrentarse a las epidemias, a las variaciones del clima u otros fenómenos naturales debió enfrentar a partir de aquí la acción de la explotación del hombre por el propio hombre. Con la división de las sociedades en clases se recrudesció la esclavitud, las exigencias de realizar trabajos forzados durante largos períodos de tiempo y en condiciones de extrema peligrosidad sin garantía para sus vidas. El desarrollo del sistema capitalista hizo que el hombre cambiara de condición y lo obliga a vender su fuerza de trabajo, con lo que se convierte en clase obrera. Con la Revolución Industrial y el consiguiente desarrollo de maquinarias para la realización del trabajo y las exigencias de los patronos que buscaban elevar la producción para lograr mayor acumulación de capital, se generó otro tipo de riesgo para los obreros. El tener que operar esas máquinas durante muchas horas del día, sin descanso, provocaba innumerables accidentes en el puesto de trabajo [1].

Desde la antigüedad el trabajo no solo favoreció el desarrollo del cerebro del hombre primitivo y su evolución. La necesidad humana de seguridad es primaria, intuitiva, intensa y substancialmente psicológica. En la búsqueda de seguridad el hombre ha procedido siempre de acuerdo a su situación cultural, su entorno social y niveles alcanzados por su propio desarrollo. La experiencia a través del tiempo le ha permitido conocer escenarios que puedan ocasionarle daño, conviviendo con ellos en su entorno social y medio ambiente.

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.

Como consecuencia de esta toma de conciencia, el hombre ha tenido la necesidad de sentirse seguro y contar con normas y regulaciones que le protejan (Protección e Higiene del Trabajo). Surge como consecuencia de la aparición de nuevas maquinarias lo cual hizo posible el incremento considerable de la productividad que dio lugar a la Revolución Industrial y con ella el surgimiento de las fábricas. Con la aparición de las fábricas el hombre se ve en la necesidad de vender su fuerza de trabajo y convertirse en clase obrera para salir adelante, aunque las condiciones de trabajo a las que estuvo sometido eran inhumanas.

El continuo desarrollo industrial trajo consigo mayor complejidad en las tecnologías de las maquinarias que eran construidas, ello exigía una mayor calificación del personal que la operaba y por lo tanto se hacía insustituible al menos a corto plazo. Ello implicaba que el empresario tenía ahora que velar por que ese hombre calificado no se le enfermara o no se accidentara, pues su ausencia afectaba su economía.

Los accidentes de trabajo y las enfermedades profesionales que son provocadas por los riesgos que se derivan de la misma actividad creadora son una causa fundamental de perjuicios no solo al individuo sino a la familia e incluso a la sociedad [1].

Todo este desarrollo científico - técnico, conlleva también a una mayor probabilidad del aumento del riesgo para provocar un desastre de origen tecnológico, este tipo de desastre está directamente relacionado con la actuación del hombre en la realización de distintos procesos tecnológicos con determinado grado de peligro.

Existen diferentes premisas que pueden originar desastres de origen tecnológico, todas parten de una situación de riesgo que por alguna causa exógeno se convierte en una situación de peligro que a causa de la forma en que se desarrolla y por sus dimensiones de ocurrencia llega a convertirse en un desastre que trae como consecuencia pérdidas, materiales, y/o humanas y daños al medio ambiente.

Los riesgos tecnológicos han empezado a ser más visibles en los últimos años en el marco de la gestión del riesgo de desastres, entendiendo que los mismos están asociados a la actividad humana y su desarrollo, se perciben como riesgos controlables por el hombre y se incrementan por la intensificación de las actividades y procesos en los territorios; además estos riesgos no son del resorte exclusivo de la actividad industrial o al sector privado; todas las personas en el desarrollo de diferentes actividades podemos tener relación con el mismo, y por tanto, conocerlo adecuadamente permitirá a la sociedad y a los diferentes actores reducirlo y facilitar el manejo de desastres [2].

El riesgo tecnológico, corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos generados por el uso y acceso a la tecnología, originados en sucesos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación. Este riesgo se genera durante el funcionamiento de cualquier actividad y supone consecuencias importantes para las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales.

Los riesgos tecnológicos son percibidos como fenómenos controlables por el hombre o fruto de su actividad, y están asociados a una gran variedad de actividades, dentro de las cuales se incluyen las domésticas y de servicios profesionales, es decir, aquellas realizadas por la población en general producto de su cotidianidad, así como también las actividades

industriales, extractivas, de transporte, entre otras, teniendo una relevancia especial las que utilizan sustancias y/o energías peligrosas [2].

Las estadísticas de los “accidentes tecnológicos” evidencian que los accidentes en los procesos industriales continúan ocurriendo, lo que significa que no se han generado estrategias para su prevención, control y mitigación efectivas, muy a pesar de las “lecciones” que nos ha dejado cada accidente ocurrido en el pasado. Estas estrategias gerenciales tienen su origen en 1985; a raíz de los accidentes de Bhopal y San Juanico México, la Asociación Canadiense de la Industria Química, promulga el programa de “Responsible Care”, con el propósito de prevenir, controlar y mitigar los riesgos tecnológicos, que se ha venido transformando en un proceso de mejora continua en los campos de protección ambiental y salud ocupacional [3].

En la actualidad se evidencia la falta de una valoración integral que permita desagregar el riesgo tecnológico en componentes de diferente índole, impidiendo la efectividad de su gestión. De igual forma, existe la necesidad de asegurar la asignación eficiente y óptima de los recursos limitados para los procesos de evaluación y manejo de riesgos. Por ello, la evaluación minuciosa de los escenarios de riesgos basada en la priorización de los mismos, se ha tornado en un tema de urgente importancia [4].

Muchos de los grandes desastres y accidentes que se han producido en el mundo han estado asociados de una forma u otra a la extracción, preparación o manejo de hidrocarburos de ahí la importancia que estos estudios tienen en procesos relacionados con estas actividades.

Es de gran importancia que los trabajadores conozcan y se actualicen con las legislaciones vigentes que los amparan, además deben tener conocimiento de los riesgos a los cuales están expuestos en su puesto de trabajo y seguir con mucha cautela las orientaciones que se les dan en cuanto al uso de los medios de protección que la empresa les asigne.

La Seguridad y Salud en el Trabajo tiene el propósito de crear las condiciones para que el trabajador pueda desarrollar su labor eficientemente y sin riesgos, evitando sucesos y daños que puedan afectar su salud e integridad, el patrimonio de la entidad y el medio ambiente, propiciando así la elevación de la calidad de vida del trabajador, su familia y la estabilidad social [1].

El tema de Seguridad y Salud en el Trabajo ha cobrado vital importancia a nivel mundial en la actualidad, tal es así que cada vez más las organizaciones se dan cuenta que a la larga genera valor, y que la prevención de los riesgos laborales asegura proteger a uno de los activos más importantes en las organizaciones que es el trabajador.

En Cuba la política de prevención relacionada con seguridad y salud es la permanente identificación, evaluación, control y solución de los riesgos, así como el mejoramiento de las condiciones de trabajo, el ambiente, la salud y la calidad de vida de los trabajadores, priorizando la solución a través de los programas y planes de prevención.

Los objetivos del plan de prevención son: disminuir los accidentes del trabajo; prevenir enfermedades profesionales; crear un ambiente de trabajo sano, seguro y limpio que facilite el incremento de la productividad del trabajo; disminuir los costos de producción y el pago por seguridad social.

En la actualidad en Cuba se ha abierto una novedosa fuente de empleo, el trabajo por cuenta propia, en el cual los trabaja también están expuestos a riesgos laborales y la ocurrencia de accidentes y enfermedades profesionales.

En el actual Código del trabajo en el artículo 127.- El empleador está obligado a cumplir la legislación sobre seguridad y salud en el trabajo y adoptar las medidas que garanticen condiciones laborales seguras e higiénicas, así como la prevención de accidentes de trabajo, enfermedades profesionales, incendios, averías u otros daños que puedan afectar la salud de los trabajadores y el medio ambiente laboral.

En el país desde hace varias décadas cuenta con la posibilidad de explotar yacimientos, tratar crudos extraídos, comercializar y refinar petróleo nativo. En la provincia particularmente se encuentra la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro “EPEP-Centro”, la cual es la encargada de supervisar y regir toda la actividad petrolífera en la región central de Cuba.

La Planta de Procesamiento de Crudo (PPC) de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro tiene como objetivo la aplicación de un tratamiento adecuado a los crudos provenientes de los pozos en producción, de forma tal que se alcancen los índices de calidad requeridos para su venta y posterior envío hacia la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.

El proceso de tratamiento implica varias etapas tecnológicas las cuales son las encargadas de garantizar un petróleo crudo con la calidad requerida para ser vendido a la Comercializadora. Las condiciones operacionales en dicho proceso resultan complejas y significativamente peligrosas; esto se debe precisamente a la agresividad de las sustancias que se manejan, así como su potencial para provocar serios daños desde la perspectiva de la integridad y salud de las personas hasta el impacto ambiental y las afectaciones por concepto de costo económico.

Constantemente la Planta de Procesamiento de Crudo como toda instalación acondicionada para el tratamiento de crudos está expuesta, entre otros tipos de riesgos, al peligro y consecuencias que proporcionan el incendio y la explosión. El análisis y la evaluación de estos riesgos para toda instalación que procese sustancias combustibles, cobra significativa importancia. Esta temática se ha abordado mundialmente con la seriedad que implican sus resultados hace aproximadamente 33 años, período en que tuvo lugar el desastre tecnológico de Bhopal en la India, como resultado de una cadena de negligencias donde perdieron la vida alrededor de 3000 personas y otras 20000 quedaron inhabilitadas. Este drama constituye la mayor catástrofe ambiental industrial y es a la vez el inicio del actual análisis de riesgos en plantas químicas. Otros accidentes como la explosión del reactor nuclear en Chernóbil 2 años más tarde, considerado el desastre nuclear más importante en la historia y el incendio de los pozos petroleros en Kuwait provocado por Irak en 1988, donde se quemaron 400000 toneladas de petróleo diarias durante 5 días y se emitieron en forma de nube más de 105000 toneladas de dióxido de azufre, sin dejar de mencionar también el derrame de combustible provocado por la plataforma petrolera Deepwater Horizon que duró 87 días y derramó un estimado de 210 millones de galones de petróleo al Golfo de México, considerado el peor desastre petrolero en la historia de los Estados Unidos, eventos con estos han reafirmado la imperante necesidad de realizar, analizar y divulgar los riesgos en instalaciones de procesos. Precisamente en la Planta de Procesamiento de Crudo, objeto de estudio de la presente investigación no se ha realizado con anterioridad el análisis de los riesgos tecnológicos, así como la evaluación de atmósferas explosivas, por lo que se propone el siguiente problema científico.

Problema científico:

Se desconoce la magnitud de las afectaciones ante la ocurrencia de una emergencia o desastre en la Planta de Procesamiento de Crudo de la EPEP-Centro.

Objetivo general:

Evaluar los posibles escenarios de riesgos tecnológicos y las afectaciones que pueden tener lugar en la Planta de Procesamiento de Crudo.

Objetivos específicos:

1. Estudiar el estado del área y de la práctica sobre las temáticas relacionadas con la investigación.
2. Seleccionar un procedimiento para evaluar la magnitud de las afectaciones ante la ocurrencia de una emergencia o desastre en la Planta de Procesamiento de Crudo de la EPEP-Centro.

3. Aplicar el procedimiento propuesto para evaluar la magnitud de las afectaciones ante la ocurrencia de una emergencia o desastre en la Planta de Procesamiento de Crudo de la EPEP-Centro.

Principales métodos, técnicas y herramientas utilizadas:

Para la investigación se utilizaron diferentes métodos, técnicas y herramientas como:

- Método de análisis cualitativo:
 - Análisis Histórico de Accidentes.
- Método de análisis cuantitativo:
 - Árbol de Sucesos.
- Método de expertos.
- Método estadístico:
 - Ecuaciones Probit.
- Método teórico de investigación:
 - Análisis – Síntesis.
- Técnicas de investigación:
 - Entrevista.
 - Observación.
 - Encuesta.
 - Revisión de documentos.
- Herramienta:
 - Lista de chequeo.
- Programas informáticos:
 - Microsoft Office (Word, Publisher, Excel, Visio).
 - AutoCAD.
 - Software ALOHA

Resultados esperados:

Contar con un procedimiento que permita la evaluación de los riesgos tecnológicos en Plantas de Procesamiento de Crudo, donde se pueda detectar las áreas afectadas antes la ocurrencia de una emergencia o desastre y las posibles afectaciones a los trabajadores, así como a la comunidad cercana a la instalación.

Valor teórico:

Quedan registradas y aplicadas las metodologías de análisis y evaluación de riesgos que más se adecuan a las condiciones de una Planta de Procesamiento de Crudo, así como de las áreas objeto de estudio en particular.

Valor metodológico:

Queda elaborado un procedimiento para la evaluación de los riesgos tecnológicos que podrá ser utilizado en otras áreas de la empresa o instalaciones petroleras del país.

Valor práctico:

Queda elaborado un plan de reducción de desastre para enfrentar la emergencia o desastre, así como contar con los recursos y fuerzas necesarias para mitigar el evento, capacitar a los trabajadores y personal cercano a la instalación.

La investigación está estructurada de la manera siguiente:

Capítulo I. Fundamentación teórica. Se encuentran una serie de conceptos e información sobre la temática tratada.

Capítulo II. Presenta una caracterización de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro y de la Planta de Procesamiento de Crudo donde se realizó la investigación, así como el procedimiento utilizado para la evaluación de los riesgos tecnológicos en la misma.

Capítulo III. Muestra los resultados obtenidos de la evaluación de los riesgos tecnológicos y sus consecuencias al hombre y la instalación.

Conclusiones. Se ponen de manifiesto todos aquellos aspectos que dan respuesta al objetivo general y los específicos.

Recomendaciones.

Referencias bibliográficas.

Anexos.

CAPÍTULO I. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

En este capítulo quedan reflejados los aspectos necesarios para el desarrollo de la investigación en cuestión, los cuales han sido obtenidos como resultado de la revisión bibliográfica de los diferentes sitios y documentos de interés para la temática que se desea precisar. Su importancia radica en el conocimiento y la preparación sobre las diferentes pautas y rutas que se investigan, así como el estado actual de la temática.

La identificación, evaluación y control de los peligros, se realiza teniendo en cuenta la naturaleza y características específicas de las actividades y procesos que se realizan en cada área. Atendiendo a la estructura organizativa del área, el jefe máximo debe designar la persona o grupo de trabajo que va a llevar a cabo el proceso de identificación, evaluación y control de los peligros, los que serán previamente capacitados para acometer el trabajo. En todos los casos, resulta imprescindible la participación directa de los trabajadores, en especial los de mayor experiencia, y la de su organización sindical, los que aportarán sus criterios sobre los riesgos presentes en cada puesto o área de trabajo, así como los posibles daños que pueden ocasionar [5].

La **figura 1** presenta el hilo conductor seguido en el diseño y elaboración del capítulo 1 de la investigación.

1.1 Gestión de Riesgos.

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas y efectos secundarios que se desprenden de los desastres, así como de las acciones preventivas, correctivas y reductivas correspondientes que deben emprenderse [6].

La gestión de riesgos es el proceso de identificar, analizar y responder a factores de riesgo a lo largo de la vida de un proyecto y en beneficio de sus objetivos. La gestión de riesgos adecuada implica el control de posibles eventos futuros. Además, es proactiva, en lugar de reactiva [7].

Se entiende por gestión de riesgos al desarrollo de un enfoque centrado en la identificación y el manejo de las posibles amenazas de una organización o un proyecto, para luego establecer las estrategias idóneas para su lanzamiento [8].



Figura 1. Hilo conductor del capítulo I.

Fuente: elaboración propia.

1.2 Riesgos Laborales.

Para desarrollar una correcta labor preventiva es necesario identificar y conocer los riesgos que se pueden presentar en el puesto de trabajo. La actividad laboral en su sentido más amplio se expresa en la interacción hombre-máquina y generalmente los medios de trabajo hoy en día tienen mucha tecnología y es necesario calibrar los posibles riesgos para evitar incidencias y accidentes de trabajo.

La identificación, evaluación y control de los riesgos, se realiza teniendo en cuenta la naturaleza, características específicas de las actividades y procesos que se realizan en las áreas.

El riesgo es la posibilidad de que un trabajador o una institución sufran determinado daño derivado del trabajo [9].

Es la posibilidad de que un trabajador sufra un determinado daño derivado del trabajo. Se denominará grave o inminente cuando la posibilidad de que se materialice en un accidente de trabajo es alta y las consecuencias presumiblemente severas o importantes [10]. Posibilidad de que un peligro se materialice en unas determinadas condiciones y sea generador de daños a las personas[11].

Después de analizados los conceptos antes mencionados por diferentes fuentes, el autor concluye que riesgo laboral es la probabilidad o posibilidad de ocurrencia de un daño a las personas, instalaciones y al medio ambiente.

1.2.1 Clasificación de los riesgos

Existen varias clasificaciones de riesgo realizadas por diferentes autores, los riesgos se clasifican en: físicos, químicos, biológicos y psicológicos[12; 13]. Otros autores añaden a la clasificación anterior los riesgos ergonómicos[14]. A continuación, se realizará un desglose de los mismos.

Riesgos físicos: son aquellos factores inherentes al proceso u operación en nuestro puesto de trabajo y sus alrededores, generalmente producto de las instalaciones y equipos que incluyen niveles excesivos de ruidos, vibraciones, electricidad, temperatura y presión externa, radiaciones ionizantes y no ionizantes[15].

Los riesgos físicos a su vez se pueden clasificar en mecánicos, eléctricos y un grupo de ellos muy relacionado con el ambiente de trabajo, los cuales se han denominado especialmente como riesgos físicos relativos al ambiente de trabajo.

Riesgos químicos: probabilidades de daños por manipulación o exposición a agentes químicos, de uso frecuente en áreas de investigación, de diagnóstico, o con desinfectantes y esterilizantes en el ambiente hospitalario.

Riesgos biológicos: se entiende por riesgo biológico (bacterias, virus, hongos, parásitos, etc.) que pueden afectar la salud y el bienestar humano causando alergias, infecciones, envenenamiento, dermatitis y otros efectos, ya sea por contagio directo o por medio de fuentes o vectores. Estos pueden ocurrir de los animales al hombre y viceversa (zoonosis) así como de un individuo a otro[15].

Riesgos Psicofisiológicos: causados por factores humanos, pueden ser organizativos o sociológicos, todos ellos inherentes al ser humano.

Los factores fisiológicos y psicológicos que intervienen en estos riesgos pueden ser:

- Fisiológicos:

Generales: sexo, edad.

Individuales: estatura, limitaciones físicas, fortaleza, movilidad, disminución de la agudeza visual y auditiva.

- Psicológicos: depresión, ansiedad, uso de medicamentos, carga mental, trastornos mentales.
- Sociológicos: negligencia, malos hábitos.
- Organizativos: falta de comunicación, falta de información.

Riesgos ergonómicos: Estos son cuando la persona tiene que adaptarse a la labor a desarrollar, porque, por lo general, la ergonomía es adaptar los trabajos a las posibilidades fisiológicas del obrero.

En este grupo de riesgos en la actualidad se pueden tener en cuenta los relacionados con las posturas de trabajo que adoptan los trabajadores, valorando la intensidad y el tiempo que invierten en la realización del trabajo, todo ello pudiendo provocar trastornos músculo esquelético.

1.3 Definición de Accidente, Emergencia, Desastre

Un accidente es un suceso fortuito e incontrolado, capaz de producir daños. En general, en la industria química este suceso coincide con situaciones de emisión, escape, vertido, incendio y explosión, donde están implicadas sustancias peligrosas. Si la situación generada se puede calificar como de riesgo grave, catástrofe o calamidad pública - inmediata o diferida- para las personas, el medio ambiente y los bienes, se le denomina “accidente mayor” [16].

Es todo suceso repentino que sobrevenga por causa o con ocasión del trabajo y que produzca en el trabajador una lesión orgánica, una perturbación funcional, una invalidez o la muerte. También, es aquel que se produce durante la ejecución de órdenes del empleador, o durante la ejecución de una labor bajo su autoridad, aún fuera del lugar y horas de trabajo[17].

Accidente químico: Se produce como resultado de una avería y que crea 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 ellos, siempre que no exceda una cantidad a partir de la cual se considera un desastre. Por lo general produce daños materiales de consideración [18].

Internacionalmente los accidentes mayores se clasifican en tres categorías [19].

- Categoría 1. Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como única consecuencia, daños materiales en la instalación industrial accidentada. Los daños asociados a la emisión, el escape, el vertido y la explosión quedan, pues, limitados a los límites de la propiedad de la instalación industrial; no se producen víctimas ni heridos.
- Categoría 2. Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como consecuencia, posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial. Las repercusiones en el exterior se limitan a desafíos leves o efectos adversos sobre el medio ambiente, en zonas limitadas.

- Categoría 3. Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como consecuencia, posibles víctimas, daños materiales o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, en el exterior de la instalación industrial.

Los accidentes mayores están relacionados con los siguientes tipos de fenómenos peligrosos [18]:

- De tipo térmico: radiación térmica (incendios)
- De tipo mecánico: ondas de presión y proyección de fragmentos (explosiones)
- De tipo químico: emisión a la atmósfera o vertido incontrolado de sustancias contaminantes tóxicas o muy tóxicas. En la práctica, los estudios de seguridad orientan los cálculos para analizar las situaciones de emisión hacia la atmósfera ya que, en este caso, la sustancia tóxica, una vez emitida, es de difícil control, y en pocos minutos puede ser transportada por el viento fuera de la planta y afectar a la población más cercana. En cualquier caso, en el futuro, y a causa de la problemática actual, las situaciones de vertido incontrolado también deberán ser evaluadas.
- Vertido en caudales de corrientes naturales: cuando su concentración, 1 km. más abajo del punto de vertido, sobrepase algunos de los valores de toxicidad aguda que establece la legislación vigente.
- Vertidos en lagos: cuando la concentración teórica que resulta de la dilución homogénea y completa de la sustancia en la masa total de agua, en un momento determinado, sobrepase las concentraciones de toxicidad crónica previstas para determinadas especies (vertebrados, invertebrados, algas, bacterias).
- Vertidos en aguas marítimas.
- Vertidos en el subsuelo: cuando puedan provocar una filtración o almacenamiento en el medio acuífero, o alterar las características de potabilidad de las aguas subterráneas.

Accidente tecnológico: eventos generados por el uso y acceso a la tecnología, originados por eventos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación.

Comprende fugas, derrames, incendios y explosiones asociados a la liberación súbita de sustancias y/o energías con características de peligrosidad [20].

Accidente es el acontecimiento no deseado que da lugar a la muerte, enfermedad. Lesiones, averías u otras pérdidas [21].

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 [22].

Emergencia es un accidente vinculado a las entidades que puede conllevar a derrame, escape de sustancias tóxicas, explosión o incendio de grandes proporciones. Situación anormal generada con posibilidades de daños graves a las personas, instalaciones y al medio ambiente, que provoca la necesidad de medidas especiales dentro y fuera del lugar donde se origina [23].

Las situaciones de emergencias se pautan en función de las necesidades de intervención derivadas de las características del accidente y de las consecuencias ya predecibles y los medios de intervención disponibles [19].

- SITUACIÓN 0: Referida a aquellos accidentes que pueden ser controlados por los medios disponibles y que, aún en su evolución más desfavorable, no suponen peligro para personas no relacionadas con las labores de intervención, ni para el medio ambiente, ni para bienes distintos a la propia red viaria en la que se ha producido el accidente.
- SITUACIÓN 1: Referida a aquellos accidentes que pudiendo ser controlados con los medios de intervención disponibles, requieren de la puesta en práctica de medidas para la protección de las personas, bienes o el medio ambiente que estén o que puedan verse amenazados por los efectos derivados del accidente.
- SITUACIÓN 2: Referida a aquellos accidentes que para su control o la puesta en práctica de las necesarias medidas de protección de las personas, los bienes o el medio ambiente se prevé el concurso de medios de intervención, no asignados al Plan de la Comunidad Autónoma, a proporcionar por la organización del Plan Estatal.
- SITUACIÓN 3: Referida a aquellos accidentes en el transporte de mercancías peligrosas que habiéndose considerado que está implicado el interés nacional así sean declarados por el Ministro de Justicia e Interior.

Se define como desastre el acontecimiento de un infortunio que destruye las estructuras básicas y el funcionamiento normal de una sociedad o comunidad. Un acontecimiento o serie de sucesos que causen amplias pérdidas de vidas humanas, materiales y/o ambientales, que sobrepasan la capacidad de la sociedad afectada para dar abasto utilizando sus propios recursos [24].

Desastre químico: Suceso de grandes magnitudes; asociado a la muerte o afección de un número considerable de personas, animales o extensas áreas de vegetación, además de cuantiosos daños materiales.

Desastres de comienzo lento: En situaciones en las cuales la habilidad de las personas para adquirir alimentos y otras necesidades de existencia disminuyen lentamente y hasta el punto en que los sobrevivientes quedan en grave peligro. Tales situaciones son típicamente producidas o precipitadas por sequías, fracaso de cultivo, enfermedades causadas por un vector, u otras formas de desastres ecológicos o negligencias.

Desastres causados por el hombre: Situaciones de emergencias cuyas principales causas directas se cuantificaron como acciones humanas, sean o no deliberadas.

Desastres naturales súbitos: Calamidades súbitas causadas por fenómenos naturales tales como inundaciones, tormentas tropicales, terremotos, erupción volcánica, etc. Se desencadenan con poco o sin aviso y tienen un aspecto adverso inmediato sobre la población humana, actividades y sistemas económicos.

Desastres tecnológicos: 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 [19].

Desastre es un hecho natural o provocado por el hombre que afecta negativamente a la vida, al sustento o a la industria, desembocando con frecuencia en cambios permanentes en las sociedades humanas, ecosistemas y medio ambiente [23].

1.4 Riesgos de Origen Tecnológicos.

Según Camejo Argüelles (2019) los riesgos de origen tecnológicos son accidentes tecnológicos donde ocurran explosiones de gran magnitud, derrames de hidrocarburos, incendios de grandes proporciones en instalaciones industriales [23].

El riesgo por fenómenos de origen tecnológico o riesgo tecnológico se define por los daños o pérdidas que pueden presentarse debido a eventos asociados con el almacenamiento, producción, transformación o transporte de sustancias y/o residuos químicos peligrosos, radiactivos, biológicos, líquidos inflamables, materiales combustibles, electricidad y/o hidrocarburos, así como con las actividades que operen altas presiones, altas temperaturas o con posibilidades de impacto mecánico [25].

Son los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos generados por el uso y acceso a la tecnología, originados en sucesos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación [26].

1.4.1 Incendio y Explosión

Entre los principales accidentes que pueden ocurrir en la industria química de forma general, se considera que el incendio, el cual se traduce como “fuego que va más allá de los límites”,

es aquel que menor radio de acción tiene, aunque sus consecuencias pueden ser nefastas debido a la agresividad de su calor de reacción, el cual puede provocar efectos colaterales terribles [19].

Incendio es la combustión auto soportada que no ha estado deliberadamente controlada para proporcionar efectos útiles y no está limitada en su extensión y espacio [27].

Es un proceso de combustión no organizado que trae consigo pérdidas de bienes materiales y en ocasiones de vidas humanas. Es el proceso del fuego cuando se propaga de una forma Incontrolada en el tiempo y en el espacio [23].

Garcia-Roca define la explosión como “el equilibrio en un breve período de tiempo de una masa de gases en expansión contra la atmósfera que la envuelve. Si la energía necesaria para la expansión de los gases procede de una reacción química, se dice que la explosión es química; es el caso de las explosiones derivadas de fenómenos de combustión donde están involucrados gases inflamables, de explosiones derivadas de reacciones incontroladas y de explosiones asociadas a la ignición o descomposición de sustancias explosivas. Si la energía procede de la liberación repentina de un gas comprimido o de la expansión rápida de vapores, se trata de una explosión física” [28].

Casal precisa como “una liberación repentina de energía, que genera una onda de presión que se desplaza alejándose de la fuente mientras va disipando energía [19]. 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”. Pueden ser de dos tipos: deflagraciones y detonaciones. En una deflagración, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es subsónica; la onda de presión tiene una fase positiva y una fase negativa. En una detonación, la velocidad de la onda de sobrepresión en el medio sin reaccionar es supersónica; la onda de sobrepresión muestra un incremento de la presión casi instantáneo hasta el pico de máxima presión, presenta también una fase positiva y otra negativa”. Existen varios tipos de explosiones accidentales como son: explosiones de vapores confinados, explosiones de nube de vapor no confinadas, explosiones de recipientes, explosión por ignición de polvo combustible en suspensión.

Es la expansión brusca de gas, que puede resultar de una oxidación rápida o la reacción de descomposición con o sin incremento en la temperatura [27].

1.4.2 Principales escenarios de riesgos

- Incendio de gases.

Entre los incendios de gases se encuentran fundamentalmente el incendio de un chorro de gas, el incendio de una nube de gas y las llamaradas [19].

➤ Chorro de gas o dardos de fuego. *Jet Fire*.

Afirman que este tipo de incendio tiene lugar cuando se produce el vertido accidental de vapores o gases inflamables a presión, en áreas de proceso o depósitos de almacenaje [19; 29].

La peligrosidad de un incendio de chorro accidental reside en la posibilidad de efecto dominó, es decir, la propagación del accidente a otras instalaciones cercanas [30].

La radiación emitida por un chorro de fuego afecta generalmente a zonas muy limitadas, tanto por las usualmente reducidas dimensiones del chorro, como por su relativamente corto tiempo de exposición. Su peligro principal es la incidencia directa del dardo sobre otras superficies, sobre todo de equipos que contengan gases licuados [31].

Casal señala que la geometría de este tipo de incendio se puede determinar mediante dos modelos determinados, los cuales dependen de si hay o no presencia de viento. Sin presencia de viento se utiliza el modelo de *Hawthorn*, el cual permite determinar la longitud efectiva de la llama turbulenta. En presencia de viento, aunque existen más modelos, el más usado es el modelo de *Kalghatgi*, el cual presupone que la llama del dardo puede asemejarse a un cono y mediante ecuaciones totalmente empíricas calcula la inclinación, altura y anchura de la llama [19].

➤ Nube de gas inflamable.

Este tipo de incendio tiene lugar cuando se produce el vertido de un gas o un vapor inflamable, de manera que se forma una nube que se va dispersando hasta que encuentra una fuente de ignición. El escape puede ser instantáneo o continuo. Estas nubes pueden estar originadas también por el vertido de un líquido que en condiciones atmosféricas experimente un *flash* o que se evapore muy rápidamente. Los incendios de nubes de vapor tienen una duración muy corta, de unos cuantos segundos y esto dificulta su estudio y la obtención de datos experimentales confiables [19; 29].

➤ Llamaradas. *Flash fire*.

“Es la llama progresiva de difusión, de baja velocidad. No produce ondas de presión significativas. Suele estar asociada a la dispersión de vapores inflamables a ras de suelo. Cuando éstos encuentran un punto de ignición, el frente de la llama generado se propaga hasta el punto de emisión, barriendo y quemando toda la zona ocupada por los vapores en condiciones de inflamabilidad. Si el origen de los vapores es un vertido con evaporación, el fenómeno acaba en un incendio de charco” [32].

López señala que la llamarada corresponde a la ignición repentina de la nube de vapores en un sitio alejado del escape del fluido. Generalmente el fenómeno se modela considerando el criterio de que la nube entra en ignición a la distancia, en la dirección del viento predominante, donde se alcanza la concentración del límite inferior de explosividad [33].

➤ Incendio de líquidos.

Cuando se produce un vertido de líquido inflamable este puede generar diferentes tipos de incendios, dependiendo así del tipo de escape y el lugar donde se produzca, entre ellos se encuentran: los charcos de fuego al aire libre, los charcos de fuego sobre el mar y los incendios en movimiento [19].

➤ Borbollón. *Boilover*.

El *boilover* borbollón puede producirse sobre todo en depósitos que contienen mezclas de diversos hidrocarburos. Si en uno de estos depósitos se produce un incendio la capa superficial de hidrocarburo se va calentando hasta entrar en ebullición, experimentando un proceso de destilación: los componentes más volátiles son los que pasan preferentemente a vapor, alimentando la llama. De esta forma, al irse enriqueciendo en los componentes más pesados esta capa superficial va aumentando su temperatura. A medida que transcurre el tiempo, esta capa rica en productos pesados aumenta de espesor, progresando en profundidad; la velocidad a la que aumenta su espesor es mayor que la velocidad a la que retrocede la superficie del líquido contenido en el depósito. De esta forma una “onda de calor” se propaga hacia la parte inferior del depósito. Si el mismo contiene agua, en forma de capa acuosa o de emulsión, en algún momento esta ola de calor (a una temperatura superior a la de ebullición del agua) llegará a la capa acuosa. Esto provocará una cierta vaporización inicial del agua; la turbulencia de este fenómeno provocará la mezcla de ambas capas, con una fuerte vaporización de agua. La generación prácticamente instantánea de una gran cantidad de vapor, con un volumen específico muy superior al del líquido, provocará una violenta erupción, con la formación de una bola de fuego y la proyección del combustible hacia el exterior. Dada la violencia del fenómeno, el combustible inflamado puede ser proyectado hasta distancias considerables [34].

Entre las condiciones necesarias para que ocurra un *boilover* se encuentran las siguientes [19]:

- Que exista presencia de agua en el recipiente.
- Generación de una ola de calor.
- Que la viscosidad del hidrocarburo sea lo suficientemente elevada como para dificultar el paso del vapor.

Un *boilover* puede desencadenar diferentes efectos entre los que se pueden citar los siguientes:

- Efecto de bola de fuego.
- Efecto de proyección y esparcimiento del hidrocarburo en llamas.

Debido a la rapidez con la que el hidrocarburo es impulsado hacia el exterior por el efecto pistón del *boilover*, se produce una descompresión hasta la presión ambiente que vaporiza parte del combustible, el cual a su vez formará una bola de fuego.

El incendio de tipo borbollón puede manifestarse de dos formas [30]:

- *Boilover* de capa gruesa. *Hot zone boilover*.
- *Boilover* de capa fina. *Thin layer boilover*.

Ferrero muestra una definición más clara pero esencialmente igual para este tipo de fenómeno: “es el fenómeno que se presenta durante el incendio de tanques de almacenamiento que contienen petróleo crudo o hidrocarburos pesados, el cual ocurre, cuando residuos de la superficie encendida, se vuelven más densos que el producto no incendiado formando una capa caliente que avanza hacia abajo más rápidamente que el líquido que regresa a la superficie. Cuando esta capa caliente alcanza el agua o la emulsión agua aceite depositada en el fondo del tanque, se provoca un calentamiento y eventualmente la ebullición súbita del agua, con lo cual, el producto fluye explosivamente hacia arriba, originando la expulsión de aceite incendiado, asociado con un incremento repentino de la intensidad del fuego”.

- *BLEVE* + bola de fuego.

Montiel, Fernández-Cámara y Bestraten definen las siguientes condiciones para la existencia de la *BLEVE* [35]:

- Sobrecalentamiento considerable del líquido, de forma que el mismo esté a una temperatura superior a su temperatura límite de sobrecalentamiento. Esta condición la cumplen la mayoría de los gases licuados. También pueden cumplirla los líquidos contenidos en recipientes cerrados que se ven sometidos a un calentamiento anómalo. En todo caso, para la existencia de la *BLEVE* en sentido estricto es necesario un valor mínimo de este sobrecalentamiento.
- Despresurización súbita, de forma que se reduzca instantáneamente la presión a la que se encuentra toda la masa de líquido contenida en el recipiente. Un fenómeno de este tipo suele comportar, en caso de accidente, la rotura del depósito, ya sea por el incremento excesivo de la presión interior y simultáneamente, por el calentamiento excesivo de las paredes a causa de un incendio, o ya sea por un impacto.

La *BLEVE* es un caso especial de estallido catastrófico de un recipiente a presión en el que ocurre un escape súbito a la atmósfera de una gran masa de líquido o gas licuado a presión sobrecalentado [36].

BLEVE, acrónimo de la expresión inglesa "*Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion*". "Este escenario se refiere a la bola de fuego (*fireball*) que se produce por el estallido súbito y total, por calentamiento externo, de un recipiente que contiene un gas inflamable licuado a presión, cuando el material de la pared pierde resistencia mecánica y no puede resistir la presión interior. El calentamiento extremo es generalmente producido por un incendio de charco o de dardo de fuego, y la probabilidad de que estalle es especialmente elevada en los casos en los que hay un contacto directo de la llama con la superficie del recipiente" [19].

➤ Nube Tóxica.

La Nube Tóxica se define como "la dispersión de vapores en forma de nube con concentraciones tales, capaces de provocar afectaciones para la salud" [31].

Para describir la evolución de nubes tanto inflamables como tóxicas en la atmósfera y hacer posible su modelización, es muy importante conocer el grado de estabilidad atmosférica que existe [19; 37]. Las distintas variables meteorológicas afectan en menor o mayor grado la dispersión atmosférica de contaminantes, y a su vez, estas presentan una gran variabilidad estacional diaria [38; 39].

Entre las principales variables meteorológicas que afectan la dispersión de nubes de contaminantes se encuentran [19]:

- El viento: Este tiene un efecto de arrastre que provoca la dispersión de nubes por desplazamiento de la masa de gas. Los datos del viento se miden a una determinada altura, por la que todas las medidas se dan referidas a una cota de referencia, generalmente se usa como cota de referencia 10 metros.
- La estabilidad atmosférica: Se establece para caracterizar la capacidad que la atmósfera tiene para dispersar un contaminante, en otras palabras, se refiere al grado de turbulencia existente en un momento determinado. La clase de atmósfera viene determinada por la cantidad de insolación, la humedad, las inversiones nocturnas y el viento, según su estabilidad se caracterizan según Pasquill de la siguiente forma:

Tabla 1.1: Clases de atmósfera según su estabilidad.

Viento de superficie (a 10 m) / m s-1	Radiación solar (día)			Noche o nublado	
	Fuerte	Moderada	Débil	Nubes \geq 4/8	Nubes \leq 3/8
0-2	A	A-B	B	-	-
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
≥ 6	C	D	D	D	D

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

Donde las letras representan el grado de estabilidad de la siguiente forma:

- Muy estable
- B. Inestable
- C. Ligeramente inestable
- D. Neutra
- E. Ligeramente estable
- F. Estable
- La temperatura y la humedad relativa: Básicamente son consecuencias de la estación del año, se utilizan para el cálculo de la velocidad de evaporación de un líquido además de, utilizarse en las ecuaciones de dispersión de gases pesados. La humedad del aire solo tiene efectos significativos sobre la dispersión de un contaminante si existe reactividad entre el contaminante y el vapor de agua presente en la atmósfera, tiene también otro efecto significativo si el gas que se tiene que dispersar está a una temperatura más baja que la ambiente. En este último caso, la humedad afecta al balance energético de las masas de gas y aire implicadas en la dispersión y provoca problemas de condensación de vapor de agua como las nubes de gases licuados de petróleo (GLP), por ejemplo, se ven blancas porque condensan la humedad del aire.

- 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.

Todos estos escenarios de riesgos expuestos anteriormente pueden tener lugar en menor o mayor medida en cualquier instalación industrial. Con fines económicos y de preservación del ecosistema y del hombre es muy importante el conocimiento y la evaluación de los daños que puedan ocasionar.

1.5 Métodos de análisis y evaluación de riesgos en las plantas de procesos tecnológicos.

1.5.1 Métodos de análisis cualitativos y cuantitativos

Los métodos de análisis de riesgos utilizados hasta el momento en la evaluación de accidentes mayores pueden subdividirse en dos grupos fundamentalmente:

- Métodos cualitativos.
 - Análisis histórico de accidentes. AHA.
 - Listas de comprobación. Check lists
 - Análisis preliminar de riesgos. Preliminary Hazard Analysis.
 - Análisis funcional de operatividad. HAZOP.
- Métodos cuantitativos.
 - Árboles de Fallos.
 - Índice *DOW* de fuego y explosión.
 - Análisis causa-consecuencia.
 - Árboles de Sucesos.

Existen cinco limitaciones inherentes a todas las técnicas de identificación de riesgos las cuales quedan definidas [19].

- La exhaustividad del estudio: no hay posibilidad de verificar que todas las posibles desviaciones y fallos del sistema hayan sido identificados. No puede verificarse que todas las causas y efectos de los accidentes potenciales hayan sido considerados. No puede asegurarse que la valoración de los incidentes y sucesos identificados sea la más conveniente.
- La reproducibilidad de los resultados: el mismo estudio llevado a cabo en idénticas condiciones por diferentes especialistas da resultados distintos. La carga subjetiva de los estudios hace que éstos sean difícilmente reproducibles.

- Lo inextricable de las conclusiones: la cantidad de documentación generada por el estudio y la falta de detalles importantes que sólo se materializan en la comunicación verbal de las sesiones de trabajo, hacen los análisis relativamente difíciles de interpretar.
- La importancia de la experiencia: todas las técnicas que se presentan, desde las listas de control hasta el análisis *HAZOP*, están basadas en mayor o menor grado en la experiencia adquirida y en la creatividad del analista.
- El nivel de confianza generado por el estudio: la subjetividad introducida en la valoración de los sucesos identificados puede generar cierto escepticismo respecto a los resultados del estudio.

Los métodos de análisis cualitativos son los que tienen como objetivo identificar riesgos, causas y efectos sin recurrir al análisis numérico. Los métodos de evaluación semicuantitativos o cuantitativos a consideración de diferentes autores son aquellos que, no llegando al detalle y rigor de una evaluación cuantitativa del riesgo, suponen un avance hacia ello desde los métodos cualitativos, en el sentido que son métodos que dan como resultado una clasificación relativa del riesgo asociado a una planta química o a partes de la misma [40].

Pese a las limitaciones aparentes de estas técnicas de análisis, debe señalarse su versatilidad y su amplia utilización. En realidad, la experiencia demuestra que, en una gestión del riesgo adecuada, basada siempre en la identificación correcta el número de accidentes tiende a disminuir paralelamente a la disminución de la magnitud de sus consecuencias.

➤ **Análisis Histórico de Accidentes.**

Casal y la Dirección General de Protección Civil y Emergencias marcan que el análisis histórico de accidentes es una técnica identificativa orientada a la búsqueda de información de accidentes industriales ocurridos en el pasado. Esta técnica de análisis es esencialmente cualitativa pero también permite extraer resultados numéricos o cuantitativos si el número de accidentes es suficientemente significativo y permite un análisis estadístico [19; 41].

La técnica se basa en una recopilación de accidentes con productos químicos en forma de banco de datos donde se encuentra almacenada la información relativa a los mismos. La recogida sistemática de información relativa a diferentes accidentes ocurridos en el pasado en plantas químicas y actividades afines ha permitido, en algunos casos, la acumulación de datos concretos sobre una determinada situación, equipo u operación: carga o descarga de cisternas, transporte de mercancías peligrosas, procesos de fabricación de un producto determinado, parques de almacenamiento, vertido de líquidos inflamables, escape de un gas tóxico, entre otras. Los accidentes ocurridos en el pasado constituyen un conjunto de “datos

experimentales”, obtenidos a menudo a un precio muy elevado, relativos a un campo en el que resulta casi imposible la experimentación a escala real: explosiones de todo tipo, confinadas y no confinadas, de polvo, de gas, *BLEVE*, incendios, formación de nubes tóxicas, entre otras. El conocimiento exacto de las condiciones en que se ha producido un accidente determinado: masa involucrada, dimensiones de la nube, condiciones atmosféricas, y sus consecuencias: radiación e impacto a diversas cotas y distancias, daños a personas y construcciones, permite contrastar y validar los modelos teóricos de predicción de efectos de este tipo de accidentes. Sin esta información, estos modelos únicamente se pueden contrastar, en el mejor de los casos, con la experimentación a pequeña escala, actualmente desarrollada en pocos centros de investigación. La recogida de información debe efectuarse de forma sistemática, teniendo especificado con claridad qué datos deben registrarse y con qué nivel de detalle. Entre los bancos de datos actuales más importantes se destacan los siguientes: *MHIDAS*, *FACTS*, *AICHE*, *OREDA*, *WOAD*, *MARS* y *SONATA*, cada uno complementado con miles de accidentes de todo el mundo y con la descripción necesaria y suficiente para el análisis de riesgos.

Las principales limitaciones del Análisis Histórico de Accidentes son:

- La instalación objeto de estudio no es exactamente igual a las que ya han sufrido accidentes.
- La información de los accidentes suele ser incompleta y en muchas ocasiones, inexacta o de uso restringido.
- No da información sobre todos los accidentes posibles sino únicamente sobre los que han sucedido y se han documentado hasta la fecha.
- El acceso a los bancos de datos implica un cierto costo.
- Listas de Comprobación.

Son listas de fácil aplicación y pueden ser utilizadas en cualquier fase de un proyecto o modificación de una planta. Es una manera adecuada de evaluar el nivel mínimo aceptable de riesgo de un determinado proyecto; evaluación necesaria en cualquier trabajo independientemente de sus características. Muchas organizaciones utilizan las listas de inspección estandarizadas para seguimiento y control de las diferentes fases de un proyecto. Las listas de inspección deben ser preparadas por personas de gran experiencia. Es necesario disponer de las normas o *standares* de referencia, así como de un conocimiento del sistema o planta a analizar. Pueden ser puestas en práctica por un titulado sin gran experiencia, aunque los resultados deben ser supervisados por alguien con vasta experiencia. Los resultados son siempre cualitativos, pero suelen limitarse al cumplimiento o no de las normas de referencia. Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior por los reglamentos e

instrucciones técnicas. Posee la gran desventaja de que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado [41].

➤ Análisis de Peligro y Operatividad.

Develan que la técnica *HAZOP* fue desarrollada en el Reino Unido en 1963, por la compañía *Imperial Chemical Industries* en el estudio de procesos químicos. De todas las metodologías, el *HAZOP* es el método más completo y riguroso por lo que es generalmente la técnica preferida por las empresas, pero la técnica sólo empezó a ser empleada más ampliamente en la industria de procesos químicos después del desastre de *Flixborough* el que una explosión en una planta química mató a 28 personas, muchas de las cuales eran simples dueñas de casas que vivían en las cercanías. Empleando un intercambio general de ideas y personal, el sistema fue adoptado luego por la industria del petróleo, que tiene un potencial similar de grandes desastres. A ello siguieron las industrias de alimentos y agua, en donde el potencial de riesgo es igualmente grande, pero de una naturaleza diferente, teniendo los problemas más que ver con la contaminación que explosiones o liberación de sustancias químicas perjudiciales. Por ejemplo, en Chile esta técnica ha sido frecuentemente utilizada por la industria minera, particularmente en aquellas instalaciones que, por su gran amplitud, cualquier interrupción o accidente puede tener consecuencias fatales o de gran envergadura tanto para el medio ambiente como la integridad económica del dueño de las instalaciones. Empresas como “*Codelco Chile*” han incorporado dentro de su normativa para el desarrollo de proyectos, el requerimiento de aplicar diferentes técnicas de análisis de riesgos operacionales, entre ellas el estudio *HAZOP*, de acuerdo con el grado de avance de cada proyecto [19; 42].

Señala que el estudio *HAZOP* se basa en analizar en forma metódica y sistemática el proceso, la operación, la ubicación de los equipos y del personal en las instalaciones, la acción humana (de rutina o no) y los factores externos, revelando las situaciones riesgosas. Se enfoca en determinar cómo un proceso puede apartarse de sus condiciones de diseño y sus condiciones normales de operación, planteando las posibles desviaciones que pudieran ocurrir. Una vez identificada una desviación, se hace una evaluación en cuanto a que si sus consecuencias pueden producir un efecto negativo sobre el funcionamiento seguro y eficiente de la planta. En caso necesario, se recomiendan medidas para eliminar la causa que produce la desviación o para mitigar las consecuencias de su materialización [43].

Para simplificar el estudio de *HAZOP* conviene subdividir un proceso grande y complejo en tantas piezas pequeñas como sea requerido para el análisis. Para ello el facilitador prepara, previo a las reuniones del grupo, la división de los diagramas de tuberías e instrumentación [44].

Los participantes proponen para cada desviación las posibles causas que la pudieran originar; existen tres tipos de causas: error humano, falla del equipamiento y eventos externos. Para cada causa planteada, se determinan las consecuencias derivadas y las salvaguardas existentes en la instalación, ya sea para evitar la ocurrencia de dicho evento o para mitigar su efecto. Las consecuencias encontradas se categorizan, asignándoles valores de riesgo en función de la probabilidad y severidad que el equipo determina para dicho evento. El grupo decide, entre todos los valores disponibles de probabilidad y severidad que se encuentran en la matriz de clasificación de riesgos, cuáles asignará a dicha consecuencia y por consiguiente surge la tabla de riesgos de la misma [45].

El objetivo del *HAZOP* es identificar los riesgos y dejarlos documentados, no resolver todos los problemas que aparecen. No debe emplearse demasiado tiempo buscando la solución a cada problema ya que se multiplicaría la duración del *HAZOP* perdiéndose el objetivo del estudio. Posterior a éste se debe encontrar la mejor solución a cada problema detectado [19].

➤ **Árbol de Fallos.**

El análisis mediante árboles de fallos es una técnica cuantitativa que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un fallo determinado a partir del conocimiento de la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores y causales mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos [19; 46].

Nolan (2011) añade que el árbol de fallos es una técnica que se enfoca en un incidente en particular, a menudo llamado evento inicial, y entonces se construye un diagrama de sucesiones lógicas de todas las secuencias de eventos concebibles que puede llevar a ese incidente [47].

El primer paso para la elaboración de un árbol de fallos es un estudio previo del sistema o proceso que se quiere analizar con el fin de determinar los incidentes susceptibles de ser analizados. Una vez determinados los accidentes que se quieren analizar, deben establecerse los límites de la instalación. Seguidamente, es necesario identificar los fallos de los elementos y las relaciones lógicas que conducen al accidente. El proceso finaliza cuando todos los fallos identificados son primarios y no es posible determinar sus causas [19; 47].

La elaboración de árboles de fallos requiere una elevada formación técnica, junto con un conocimiento detallado del sistema o proceso y de sus modos de fallo. Además, se requiere que por lo menos la información sobre el proceso sea completa en las partes más esenciales. El nivel de detalle de la información disponible condiciona el nivel de detalle del análisis [19; 48].

La limitación principal de la metodología es que únicamente se pueden representar fallos “totales”, es decir, siempre se considera el fallo completo del elemento involucrado en la cadena de sucesos que conduce al accidente y representan fotografías instantáneas del proceso. Además, para su análisis y desarrollo se requiere de mucho tiempo y personal especializado con un conocimiento completo de la planta. Señala que genera recomendaciones de mejoras muy concretas y que muestra un modelo gráfico en forma de árbol invertido que ilustra la combinación lógica de fallos parciales que conducen al fallo de sistema [19].

➤ **Árbol de Sucesos.**

Nolan (2011) describe el Árbol de Sucesos como un modelo lógico que matemática y gráficamente retrata la combinación de eventos de fallo y circunstancias en una sucesión de incidentes, expresado como una estimación anual [47].

Wells (2003) señala que los Árboles de Sucesos son la mejor herramienta para el análisis de consecuencias. Son usados para realizar un análisis probabilístico. Se organiza mediante una estructura de árbol en la que cada bifurcación se decide a partir de la ocurrencia de un fenómeno u otro [49].

La construcción del árbol comienza por la identificación de los n factores condicionantes de la evolución del suceso iniciador. A continuación, se colocan estos como cabezales de la estructura gráfica. Partiendo del iniciador se plantean sistemáticamente dos bifurcaciones: en la parte superior se refleja el éxito o la ocurrencia del suceso condicionante y en la parte inferior se representa el fallo o no ocurrencia del mismo. De esta forma, se obtienen $2n$ combinaciones o secuencias teóricas. Sin embargo, las dependencias entre los sucesos hacen que la ocurrencia o éxito de uno de ellos pueda eliminar la posibilidad de otros, reduciéndose así el número total de secuencias. La disposición horizontal de los cabezales se suele hacer por orden cronológico de evolución del accidente [41; 49].

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

1. Identificar el evento iniciador que generalmente es un evento de fallo correspondiente al escape de un material peligroso [49].
2. Identificar el desarrollo del incidente.
3. Construir el árbol de eventos. Este es construido de izquierda a derecha, en cada nodo se muestran las alternativas analizadas.
4. Clasificar los resultados del incidente.
5. Estimar la posibilidad de ocurrencia de cada suceso.

6. Clasificar los resultados y determinar su probabilidad.

Díaz (2013) [50] afirma que, a partir de los estudios de los registros históricos de accidentes realizados por Wells (2003) [49] éste define las probabilidades de ocurrencia de sucesos tales como: la aparición de un escape, la posibilidad de una ignición inmediata, el tipo de clima, la explosión de la nube de vapor, la intrusión de una llama y las acciones de mitigación. Algunas de las probabilidades son:

- Probabilidad de ignición inmediata produciendo un dardo de fuego: 0.1
- Probabilidad de que no ocurra ignición inmediata: 0.9
- Probabilidad de explosión de la nube de vapor con estabilidad atmosférica D: 0.25
- Probabilidad de explosión de la nube de vapor con estabilidad atmosférica F: 0.66
- Probabilidad de la *BLEVE*: 0.5
- Probabilidad de piscina de fuego (ignorada para caso de gas): 0

Define una escala capaz de clasificar las probabilidades de ocurrencia de sucesos atendiendo a su frecuencia según se muestra en la siguiente tabla [51]:

Tabla 1.2 Escala de probabilidad cuantitativa y cualitativa.

Frecuencia	Escala de probabilidad
1 en 10	Frecuente
1 en 100	Probable
1 en 1000	Ocasional
1 en 10000	Remoto
1 en 100000	Improbable
1 en 1000000	Extremadamente remoto

Fuente: Santos, (2010).

Wells (2003) señala que la probabilidad, para los diferentes sucesos, por él calculada pueden ser usadas para plantas similares y que en el caso de las estabilidades atmosféricas su cálculo depende de las condiciones climatológicas de la zona de estudio. De ahí que la autora de este trabajo considera que estas probabilidades deben ser calculadas para la zona de estudio a partir de datos climatológicos que sean representativos de la misma [49].

Autores como Casal *et al.*, (2001) y Wells, (2003) le atribuyen ventajas a esta técnica muy similares a las de los árboles de fallos y entre sus limitaciones principales citan:

- La laboriosidad del trabajo si el árbol llegara a proyectarse muy extenso.

- La incertidumbre a la cual está asociado el valor obtenido por el hecho de estar atado a probabilidades.

1.6 Evaluación de atmosferas peligrosa. Programas informáticos más utilizados.

1. ALOHA: “Areal Locations of Hazardous Atmospheres”.

ALOHA es un programa computarizado diseñado específicamente para el uso de personas que respondan a la evaluación de accidentes químicos, así como para la planificación y entrenamiento de emergencias. Puede predecir las tasas a las cuales los vapores químicos pueden escapar a la atmósfera desde tuberías de gas rotas, fugas de tanques, y charcos de evaporación. Predice además como una nube de gas peligrosa puede dispersarse en la atmósfera después de una descarga química accidental [52].

Está diseñado para que pueda usarse fácilmente, de modo que pueda operarse exitosamente durante situaciones de alta presión. Su biblioteca química posee información sobre las propiedades físicas acerca de más de novecientos compuestos químicos peligrosos de uso común para la industria.

Para su uso prácticamente se siguen los siguientes pasos:

- Indicar la ciudad donde está ocurriendo una descarga accidental y la hora y la fecha del accidente.
- Elegir el producto químico de interés de la biblioteca de información del *Software*.
- Introducir información sobre las condiciones meteorológicas actuales.
- Describir en qué forma el producto escapa del contenedor.
- Pedir a *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 *Software* está certificado por el CITMA para obtener la dispersión de los contaminantes en la atmósfera y determinar su posible área de alcance.

Entre sus limitaciones principales se encuentran las siguientes:

- No modela mezclas de componentes, por lo que se busca siempre una sustancia de referencia que se ajuste a las características de dicha mezcla.
- No tiene en cuenta las partículas, las particularidades del terreno ni los fragmentos peligrosos.
- No incorpora reacciones químicas.

2. *DEGADIS*. “*Dense Gas Dispersion Model*”.

Fue originalmente desarrollado para los Guardacostas de *USA* y el Instituto de Investigación del Gas primordialmente para la simulación de la dispersión de gases criogénicos inflamables. La implementación de *DEGADIS* en una computadora personal se patrocinó por el Instituto de Investigación del Gas y el Instituto Americano Del Petróleo, donde actualmente se usa con veracidad [52; 53].

3. OiRA: “Evaluación de riesgos interactiva en línea”.

OiRAes una plataforma *web* que permite la creación de herramientas de evaluación de riesgos sectoriales en cualquier lengua y de un modo fácil y normalizado. Está basada en el instrumento de evaluación de riesgos neerlandés denominado *RI&E*. El propósito de la herramienta *OiRAes* realizar la evaluación de riesgos eficazmente en microempresas y pequeñas empresas donde exista desconocimiento total de la gestión y evaluación del riesgo laboral [54].

1.6.1 Método para la determinación de afectaciones humanas. Ecuaciones Probit

Apuntan que es un método estadístico que nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo, es un método muy destacado entre los modelos de vulnerabilidad, los cuales son basados en experiencias realizadas con animales de laboratorio o estudios de muertes y lesiones de accidentes ocurridos. El valor *Probit* permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte a causa de una carga de exposición determinada, dichos valores se encuentran tabulados como parte indispensable de aplicación del método [55; 56].

Conclusiones parciales

La gestión del riesgo se define como el proceso de identificar, analizar y cuantificar las probabilidades de pérdidas, para luego establecer acciones preventivas. Los escenarios de riesgos más probables en Plantas de Procesamiento de Crudo son: nubes de vapor inflamables y tóxicas, *Jet Fires*, *Flash Fires*, *Pool Fire*, *BLEVE* y *boilover* de capa gruesa. El Análisis Histórico complementado con el Árbol de Sucesos resultan técnicas de análisis de riesgos muy efectivas para determinar la frecuencia de ocurrencia de los posibles escenarios de riesgo. El *Software* más adecuado para la evaluación de atmósferas explosivas es *ALOHA*. Las ecuaciones *Probit* son adecuadas y relativamente sencillas para determinar las posibles afectaciones humanas ante accidentes mayores.

CAPÍTULO II. CARACTERIZACIÓN DE LA ENTIDAD. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se hace una breve caracterización de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro y específicamente la Planta de Procesamiento de Crudo, además se presenta el procedimiento seguido para la determinación y evaluación de los riesgos tecnológicos, así como las técnicas utilizadas en la investigación.

2. Caracterización de la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro.

Ubicada en la Finca “La Cachurra” en el poblado de Guásimas, municipio de Cárdenas, fue creada el 18 de Diciembre de 1976 por la Resolución No. 76-109 del extinguido Ministerio de Minería y Geología. Tiene su zona de operaciones comprendida en las provincias de Villa Clara, Cienfuegos, Ciego de Ávila, Mayabeque y Matanzas.

La empresa cuenta con capacidades para la prestación de servicios técnicos petroleros a los yacimientos propios, asimismo dispone de una base de talleres que garantiza el mantenimiento y las reparaciones del equipamiento tecnológico y automotor propio. Además, tiene capacidades disponibles para prestar servicios a otras empresas del territorio a partir de la disponibilidad de equipos y máquinas instaladas, teniendo como premisa la calidad, rapidez, seguridad y respeto al cliente.

Cuenta con una fuerza de trabajo estable, capacitado y con vasta experiencia en la actividad petrolera. Se ha desarrollado un importante programa de formación y desarrollo que ha permitido la homologación de Operadores de procesos y supervisores de perforación a nivel internacional y se han impartido cursos específicos para las actividades de extracción e ingeniería de yacimientos con profesores extranjeros.

Se dispone de una base de almacenes bajo techo, capaz de almacenar de forma segura los materiales requeridos para la industria y las actividades principales, así como los productos químicos y el cemento. La Empresa tiene una Base de transporte que presta el servicio a la actividad principal, contando con el equipamiento requerido.

Las perspectivas de desarrollo de la empresa se sustentan en la exploración petrolera con recursos propios en prospectos geológicos, localizados en la Región Central y próximos a yacimientos conocidos, lo que significa una moderación del riesgo.

La introducción de tecnología de punta en la perforación de pozos horizontales con grandes desplazamientos en el Yacimiento Varadero es un punto de partida como método seguro para mantener e incrementar la producción, el cual se extenderá a otras áreas de desarrollo.

La organización y perfeccionamiento de centros de costos por área de responsabilidad ha contribuido a un mejor control sobre los recursos. Los gastos de materias primas y materiales

tienen una mayor incidencia en las actividades de extracción, perforación y mantenimiento por ser éstas las actividades principales de la Empresa.

La contabilidad de la empresa es confiable, avalado por auditorías autorizadas para ello y al mismo tiempo por los resultados del control interno.

La estabilidad de la fuerza de trabajo, la superación constante de la misma, su espíritu emprendedor e innovador, posibilitan las bases para alcanzar estadios superiores una vez desde que se inició la aplicación en nuestra Empresa el Perfeccionamiento Empresarial.

Misión: Satisfacer una parte de las necesidades energéticas del país como resultado de la exploración, el desarrollo de la explotación de yacimientos gas petrolíferos y de los servicios especializados, directamente o como contrapartida de firmas extranjeras, representando a CUPET.

Visión: Organización empeñada en el desarrollo integral de la actividad petrolera nacional, de manera que alcance el liderazgo productivo y tecnológico en un ambiente innovador y participativo.

2.1.1 Caracterización de la Planta de Procesamiento de Crudo.

Esta Instalación tiene por objetivo la aplicación de un tratamiento adecuado a los crudos provenientes de los pozos en producción, de forma tal que se alcancen los índices de calidad requeridos para posteriormente enviarlos por el Oleoducto Magistral hacia la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas.

Antes de la entrada a la Planta, al petróleo extraído de los pozos se le adiciona solvente que se utiliza como sustancia reductora de viscosidad para garantizar una mejor transportación del crudo e influir positivamente en el tratamiento posterior del mismo. El petróleo contiene una serie de impurezas que es necesario que se eliminen hasta los límites establecidos antes de su comercialización, destacándose entre ellas, el agua, las cuales provocan serios problemas de corrosión, deposiciones indeseables y otros efectos que inciden negativamente en la eficiencia de las instalaciones, para ello en la empresa se aplica el Método de Tratamiento Termoquímico. Este método se basa en la adición de sustancia química (desemulsionante), la cual se añade en la Estación de Rebombeo (ERO) en su salida hacia la Planta de Procesamiento de Crudos y que tiene la propiedad de destruir o neutralizar la acción de las emulsiones, favoreciendo la separación de las fases agua-petróleo y la elevación de la temperatura hasta valores determinados, que se realiza en la entrada de la Planta de Procesamiento y que incide positivamente sobre las emulsiones del tipo agua-petróleo. Como el agua y el petróleo tienen coeficientes de dilatación cúbica diferentes, al calentarse la película, aumenta la diferencia de densidades entre ellos, favoreciendo el

proceso de ruptura de la emulsión, además el incremento de la temperatura reduce la viscosidad del petróleo facilitando la decantación del agua y disminuye la resistencia mecánica de las partículas protectoras debido al ablandamiento y mayor solubilidad en el medio, así como también al aumento de la velocidad de movimiento de los glóbulos que contribuye a su fusión y acelera la separación de las fases agua petróleo [57].

En resumen, el proceso de ruptura de la emulsión con el Método de Tratamiento Termo-Químico, se desarrolla en tres etapas:

- **Primera etapa:** Ocurre el fenómeno de floculación de las partículas dispersas.
- **Segunda etapa:** Tiene lugar la coalición de muchas partículas de la fase dispersa rompiendo las películas que se separan, formando así un número mayor de gotas grandes.
- **Tercera etapa:** Se unen esas gotas grandes y decantan, desemulsionándose el petróleo.

Este Método de Tratamiento Termoquímico, tiene grandes ventajas debido a que se necesitan instalaciones simples y económicas y permite un control sencillo.

Las operaciones fundamentales que se realizan en la Planta de Procesamiento de Crudos son:

- Recepción de crudos.
- Calentamiento inicial del crudo
- Segunda etapa de separación de gases.
- Trasiego hacia tanque 6
- Bombeo hacia los tanques de tratamiento
- Recepción, calentamiento y reposo en los tanques de tratamiento
- Trasiego hacia la Estación Cabecera del Oleoducto.
- Venta a Matanzas.
- Dosificación de diluyente.

Características y propiedades físico-químicas de las sustancias involucradas en el proceso de tratamiento del petróleo.

De las características de las sustancias de interés que se manipulan en el proceso caso de estudio, depende netamente el conjunto de riesgos a los cuales se exponen las mismas. El conocimiento de dichas características incide en la toma de decisiones con el objetivo de

minimizar los daños que puedan derivarse de su presencia en accidentes industriales mayores.

➤ **Petróleo crudo nativo. PCN.**

Expresa que su nombre proviene del latín “*petroleous*”, que a su vez se deriva de las voces latinas “*petra*” (piedra) y “*oleous*”, (aceite). Es una mezcla compuesta de hidrocarburos líquidos, compuesto en mayor medida de carbono e hidrógeno, con pequeñas cantidades de nitrógeno, oxígeno y azufre. Su composición química depende de ciertos componentes químicos en el petróleo, así como de la unión de estos en elementos más complejos. Su importancia radica en las características que cada uno de estos elementos le confiere al petróleo [58].

Plantea que está formado por cadenas moleculares de hidrocarburos con pequeñas cantidades de derivados que contienen oxígeno, nitrógeno y azufre con trazas de constituyentes metálicos. Frecuentemente se encuentra el agua emulsionada en el crudo a veces hasta en un 30%, es un líquido combustible con apariencia aceitosa, espumosa, negra y viscosa [59].

Los crudos parafínicos son muy estables por su poca reactividad, son muy fluidos y de color claro y proporcionan una mayor cantidad de naftas y lubricantes. Los nafténicos son muy viscosos y de oscura coloración, cuando llegan a oxidarse dan lugar a la formación de ácidos nafténicos los cuales actúan de manera muy corrosiva sobre los metales y tras el proceso de refinación generan una gran cantidad de residuos. Los mixtos son una combinación de los parafínicos y de los nafténicos, son muy reactivos y se combinan con hidrógeno, oxígeno, cloro y azufre para formar gomas, resinas y lacas entre otros productos. Según la composición predominante de estos hidrocarburos los crudos suelen clasificarse en crudos de base parafínica, de base asfáltica o de base mixta [60].

Algunas de sus propiedades físico-químicas son:

Punto de inflamación: 61 °C (No es inflamable a temperatura ambiente.)

Gravedad específica: 0.9780 mg/l

Punto de combustión: 91 °C

Presión de vapor: menor a 1 psia

➤ **Gas natural del petróleo. GNP.**

Define el gas natural como una mezcla homogénea en proporciones variables de hidrocarburos parafínicos, su componente principal es el metano cuyo componente varía generalmente entre 90 y 98% molar, contiene también etano, propano, butano y componentes de menor proporción más pesados, también tiene en menores proporciones gases

inorgánicos como el dióxido de carbono, monóxido de carbono, nitrógeno, sulfuro de hidrógeno, dióxígeno y vapor de agua entre otros. Todos estos contaminantes se consideran impurezas del gas natural y realmente causan serios problemas operacionales como son la formación de hidratos por condensación del vapor de agua y el aumento acelerado de la corrosión en los equipos de proceso. Se puede encontrar como gas asociado y gas no asociado, dando esto una medida del gas que acompaña al crudo desde el yacimiento o de los yacimientos netamente gasíferos respectivamente. Se considera que el gas natural tiene una serie de ventajas sobre otros combustibles debido a su seguridad por el hecho de tener límites de inflamabilidad en rangos tan estrechos (de 4% a 14%) y una alta temperatura de ignición [61].

Explica que es un gas de efecto invernadero que contribuye a aumentar el cambio climático, pero a pesar de todo es la opción “menos mala” dentro de la quema de combustibles fósiles [62].

Entre sus propiedades físicas calculadas [63] se pueden citar las siguientes:

Tc: -75.56 °C

Pc: 4601 KPa

Densidad media: 15.37 kg/m³

Viscosidad media: 0.0129 cP

➤ Sulfuro de Hidrógeno. H₂S.

El autor considera que el sulfuro de hidrógeno se encuentra en gran medida acompañando al crudo extraído, unido directamente al gas natural o gas acompañante, a temperatura ambiente se encuentra en fase gaseosa, por lo que su separación y por tanto emanación es bastante fácil, y muy difícil de controlar.

Es un gas incoloro, más pesado que el aire en su estado más puro y extremadamente tóxico. En bajas concentraciones, tiene olor a huevo podrido y causa irritación en los ojos y en la garganta. En concentraciones elevadas puede causar la muerte. Se encuentra en una amplia variedad de procesos industriales, además de la industria del petróleo, en la producción de pulpa y papel y en el tratamiento de las aguas residuales. Es también conocido como gas ácido, gas amargo o gas que apesta [64]. Entre sus características y propiedades físico-químicas y toxicológicas se encuentran las siguientes:

Temperatura de Ebullición: -59.5 °C

Densidad: 1.19 g/cm³, más denso que el aire que posee 1.0

Límite superior de inflamabilidad: 46%

Límite inferior de explosividad: 4%

El sulfuro de hidrógeno es un gas acompañante de los hidrocarburos, incoloro, tóxico e inflamable y puede estar presente en la mayoría de las instalaciones petroleras [65].

Tabla 2.1. Niveles de toxicidad del H₂S

Exposición al H₂S	Posibles efectos en la salud
1ppm	<ul style="list-style-type: none">- Se puede oler.
10ppm	<ul style="list-style-type: none">- No existen efectos adversos para la mayoría de las personas.- De este nivel en adelante se requiere uso de protección respiratoria.
20-200ppm	<ul style="list-style-type: none">- Irritación de los ojos y las vías respiratorias además de pérdida del olfato.- Dolor de cabeza y náuseas.
200-500ppm	<ul style="list-style-type: none">- Iguales efectos que el nivel anterior pero ocurren con mayor rapidez y son más severos.- Pérdida de la conciencia y muertes en pocas horas.
500-700ppm	<ul style="list-style-type: none">- Afectación al sistema nervioso central.- Pérdida de la razón, pérdida del equilibrio, inconsciencia y paro respiratorio en pocos minutos.
700ppm y concentraciones superiores	<ul style="list-style-type: none">- Inmediata pérdida del conocimiento.- Daño permanente del cerebro y muerte si la víctima no es rescatada de inmediato.

Fuente: Rodríguez Lodos (2019).

➤ **Nafta.**

La nafta es un líquido amarillo claro transparente, aromático y volátil, obtenido como producto de la destilación fraccionada del petróleo crudo, por lo que su estructura molecular se asemeja a la del crudo. Es un producto estable e inflamable a temperatura ambiente en presencia de fuentes de ignición por lo que debe evitarse su exposición a llamas, chispas y calor [66].

Plantea que la nafta puede contener vulnerabilidad de productos en diversas proporciones lo cual afecta sus propiedades físico-químicas, a ello se debe que algunos datos se reporten en rangos. La densidad relativa, densidad de vapor y la razón de evaporación se expresan con

respecto a un compuesto de referencia, siendo mayormente utilizados el agua, el aire y el acetato de butilo [67].

Para su estudio generalmente se trabaja con valores los cuales se definen a continuación [68]:

Temperatura de ebullición: 36 °C

Auto inflamabilidad: 280-456 °C

Densidad: 0.760 g/cm³

Tensión superficial: 19-23 dinas/cm² a 25 °C

Viscosidad: a 30 °C menor de 1cSt

Punto de inflamación: Se expresa en el rango siguiente: (-43 °C a -30 °C)

Por las características expuestas anteriormente para cada una de las sustancias caracterizadas cabe destacar la peligrosidad inherente a ellas, por lo que se hace meritorio el análisis de riesgos por incendio y explosión debido a sus características combustibles y de inflamabilidad.

2.2 Propuesta del procedimiento a seguir para la evaluación y control de los riesgos tecnológicos en la Planta de Procesamiento de Crudo.

Como no se han realizado estudios de evaluación de los riesgos tecnológicos ni se ha evaluado las atmosferas peligrosas en la PPC se analizan algunos procedimientos existentes para la evaluación de riesgos laborales, el autor considera que el más adecuado por las etapas y pasos para desarrollar las mismas, es realizar una aproximación a procedimiento de Camejo Argüelles (2015) [1] realizando algunas modificaciones en el mismo.

2.2.1 Antecedentes de la investigación

Muchos son los autores que han desarrollado procedimientos para la identificación, evaluación y control de riesgos, citando como ejemplo: Menéndez, F,2005[69] , De la Torre Mazón, 2007[70], Rodríguez Palenzuela, 2010[71], Gonzáles Verde, González Oliva, 2013 [72], Asamblea Nacional del Poder Popular, 2014 [73], Camejo Argüelles, 2015 [1], ISO 45001, 2018 [74]; los cuáles al analizar dichos procedimientos se ha llegado confeccionar un análisis crítico el cual se expone en la **tabla 2.2**.

Tabla 2.2. Análisis de los procedimientos consultados

Procedimiento	Fortalezas	Debilidades
De la Torre Mazón, 2007 [70].	➤ Tiene en cuenta la cantidad de personas, importancia económica entre otros factores en el local a la hora de la aplicación.	➤ No es un documento oficial. ➤ No están bien definidas las etapas del método.
Rodríguez Palenzuela, 2010	➤ Tiene en cuenta la cantidad de personas, importancia económica entre otros factores en el local a la	➤ No es un documento oficial. ➤ No es de fácil aplicación

[71].	hora de la aplicación.	en diferentes medios.
González Verde, González Oliva, 2013 [72].	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consta de tres etapas bien definidas y divididas por pasos. ➤ Pone de manifiesto las modificaciones implantadas por el reglamento del código del trabajo. ➤ Es de fácil aplicación y se adapta de la mejor manera a diferentes ambientes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No es un documento oficial.
Asamblea Nacional del Poder Popular, 2014 [73]	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es un documento oficial 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No es un método, sino que va directo a la valoración de los riesgos
Camejo Argüelles, 2015 [1]	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Consta de tres etapas bien definidas y divididas por pasos. ➤ Es de fácil aplicación y se adapta de la mejor manera a diferentes ambientes. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No es un documento oficial.
ISO 45001, 2018 [74].	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Es un documento oficial. ➤ Está actualizado. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No cuenta con un método, solo enumera los riesgos sin la realización del análisis.

Fuente: elaboración propia.

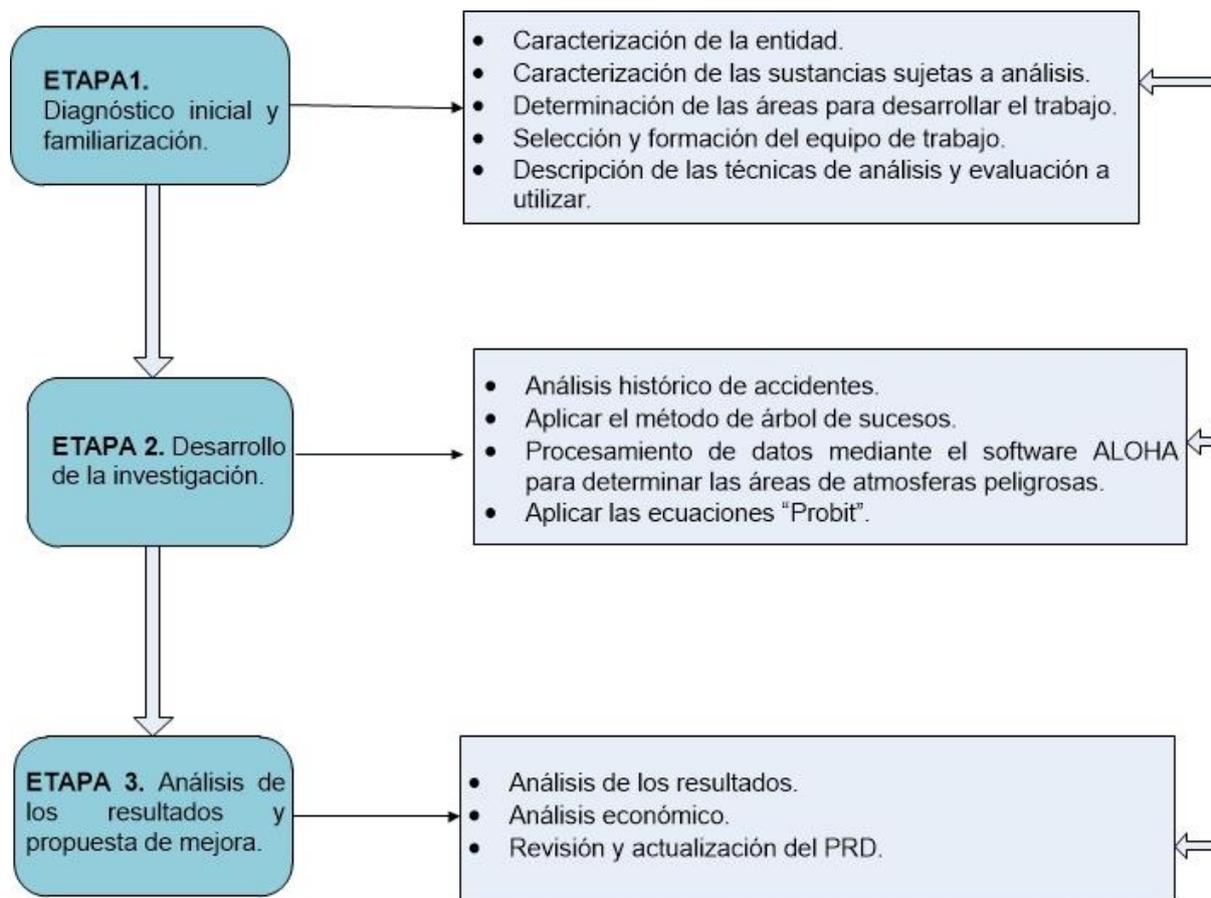
El procedimiento consta de tres etapas y puede ser aplicado a cualquier entidad para desarrollar la identificación y evaluación de los riesgos tecnológicos.

Etapa I: Diagnóstico inicial y familiarización.

Etapa II: Desarrollo de la investigación.

Etapa III: Análisis de los resultados y propuesta de mejora.

A continuación, se procederá a explicar cada una de las etapas anteriormente mencionadas.



Fuente: Elaboración propia.

2.3 Caracterización de las sustancias sujetas a análisis.

Según Orozco, (2015) la caracterización de las sustancias involucradas en un proceso se desarrolla mediante la siguiente guía:

- Identificación del producto.
 - Nombre del producto.
 - Fórmula Química.
 - Etiquetado de peligro (frases R y S) así como las que la identifican por otros efectos.
- Datos Físicos.
 - Apariencia.
 - Punto de ebullición.
 - Punto de fusión.
 - Solubilidad.
 - Densidad.
 - TLV. Límite superior de inflamabilidad.
 - IPVS. Límite inferior de explosividad.

- Punto de congelación.
 - Temperatura de auto ignición.
 - Coeficiente de expansión.
 - Temperatura de inflamación.
 - Biodegradabilidad.
 - Corrosión.
 - Capacidad calorífica.
- Peligros para la salud.
- Concentración permisible.
 - Exposición permisible.
 - Emergencias.
 - Partes del cuerpo que afecta.
 - Forma de entrada al organismo.
 - Toxicidad.

Tabla 2.3 Modelo para la clasificación toxicológica de las sustancias analizadas.

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

Fuente: Orozco, J.L (2015) [75].

- Condiciones de almacenamiento y manipulación.
- Nombre del producto almacenado.
 - Forma del recipiente (cilíndrico, rectangular, vertical, horizontal, etc.).
 - Dimensiones del recipiente (largo, ancho, diámetro).
 - Material de construcción.
 - Protección del recipiente (interior o exterior).
 - Existencia de accesorios en el recipiente y su localización.
 - Fecha de fabricación del recipiente.
 - Condiciones de almacenamiento de las sustancias.
 - Cantidad de sustancia almacenada.

- Registro histórico de averías producidas en el recipiente. Casos de derrames, salideros, etc.
 - Tipo de averías producidas.
 - Condiciones de almacenamiento (presión, temperatura, etc.).
 - Características de los alrededores del recipiente.
- Condiciones para su uso en el proceso.
- Uso en el proceso.
 - Condiciones en las que se usa la sustancia (presión, temperatura).
 - Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias.
 - Material de construcción de los equipos donde es usada.
 - Protección del sistema de tuberías.

En los anexos 3a y 3b aparece la caracterización del gas natural del petróleo y de la nafta respectivamente.

2.4 Determinación de las áreas para desarrollar el trabajo

Se seleccionó para el estudio las áreas de la Segunda Etapa de Separación (SES) y los tanques de almacenamiento de nafta ya que son consideradas las áreas más peligrosas de la PPC y donde se han generado la mayor cantidad de incidentes, accidentes y averías.

2.5 Formación del equipo de trabajo

Se deben formar grupo de expertos, donde se incluyan compañeros que posean las condiciones mínimas imprescindibles como:

- a) Que tengan experiencia y conozcan la actividad que se realiza en la entidad.
- b) Al menos uno del grupo debe tener conocimiento de las técnicas de registro para la identificación, evaluación y control de riesgos.

Deben prepararse los integrantes del grupo en las técnicas que se van a aplicar, de forma tal que dominen su contenido para desarrollar y aplicar el estudio en la entidad.

Se utilizaron las técnicas de: revisión de documentos, método de selección de expertos, talleres y seminarios.

Método de los Expertos: para la selección del experto se utiliza el llamado coeficiente de competencia, el cual se determina de acuerdo con la opinión del experto sobre su nivel de conocimiento con respecto al problema que se está resolviendo y con las fuentes que le permiten comprobar su valoración. El coeficiente de competencia se calcula de la siguiente forma:

$$K = (K_c + K_a) / 2$$

Donde:

Kc: es el coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto respecto al problema, calculado sobre la valoración del propio experto.

Ka: es el coeficiente de argumentación o fundamentación de los criterios del experto.

Cuestionario de Competencia al experto:

Primera fase del cuestionario: en esta primera fase se obtiene información que permite calcular el coeficiente de conocimientos o de información que posee el experto en relación con el problema que se quiere resolver. Los ítems que aparecen en la primera columna han sido obtenidos de dos fuentes: la literatura consultada acerca de las competencias que debe poseer un sujeto para calificarlo como experto en el ámbito de un problema concreto, y la opinión de personas con trabajo reconocido.

Tabla 2.4 Coeficiente de Conocimiento (Kc) y Coeficiente de Argumentación (Ka).

Coeficiente de Conocimiento (Kc)		
Características	Prioridad	Voto
Conocimiento	0,181	
Competitividad	0,086	
Disposición	0,054	
Creatividad	0,1	
Profesionalidad	0,113	
Capacidad de análisis	0,122	
Experiencia	0,145	
Intuición	0,054	
Actualización	0,127	
Colectividad	0,018	

Coeficiente de Argumentación (Ka)				Voto
	Grado de influencia de los criterios			
Fuentes	Alto	Medio	Bajo	
Estudios teóricos realizados	0,27	0,21	0,13	
Experiencia obtenida	0,24	0,22	0,12	
Conocimiento de trabajos nacionales	0,14	0,1	0,06	
Conocimiento de trabajos en el extranjero	0,08	0,06	0,04	
Consultas bibliográficas	0,09	0,07	0,05	
Cursos de actualización	0,18	0,14	0,1	
	1	0,8	0,5	

Fuente: elaboración propia.

2.6 Descripción de las técnicas de análisis y evaluación a utilizar.

El primer paso en la metodología para realizar un análisis de riesgos químicos comienza con la caracterización de las sustancias peligrosas. La caracterización de las sustancias de interés se define en el acápite 2.3 según la metodología establecida para ello.

2.6.1 Metodología para el Análisis Histórico de Accidentes.

Según el Registro de Incidentes y Accidentes de la PPC en el período de 2015 a 2019, disponible en la propia planta se realiza un conteo detallado del número de incidentes, accidentes y averías de interés para la investigación que han tenido lugar; entiéndase por incidentes de interés los siguientes:

- Escape de gas.
 - Averías en SES. (Incluye las balas separadoras, intercambiadores de calor, línea del *flare* y el tanque 6).
 - Rajadura del techo de tanque 8.
- Derrame de nafta.
 - Averías en el área de almacenamiento de nafta. (Rajadura en el cuerpo del tanque, salidero por la sección inferior o base del tanque).
 - Durante el proceso de descargue de las pailas.

Una vez detectados los incidentes se calcula la frecuencia anual de ocurrencia de los mismos de la siguiente forma:

Frecuencia = número de incidentes / 10 Frecuencia: (a-1)

Donde:

10: cantidad de años para los que se contabilizan los incidentes.

Número de incidentes: tomado del Registro de Incidentes de la planta.

Por esta vía se calcula para el gas, detectando los incidentes que se refieren al gas y de forma análoga para la nafta.

2.6.2 Metodología para el Árbol de Sucesos

La metodología para realizar el Árbol de Sucesos queda definida de la siguiente forma[49]:

1. Identificar el evento iniciador que generalmente es un evento de fallo correspondiente al escape de un material peligroso.
2. Identificar el desarrollo del incidente.
3. Construir el árbol de eventos. Algunas consideraciones a tener en cuenta son:
 - El Árbol de Sucesos debe ser construido de izquierda a derecha.

- En cada nodo debe mostrarse cada alternativa de eventos que puede afectar de una manera u otra el desarrollo del accidente.
 - Cada suceso debe ser indicado sobre cada uno de los nodos, en los cuales la respuesta “sí” o “puede ocurrir” corresponde a la rama superior y “no” o “no puede ocurrir” corresponde a la rama inferior.
4. Clasificar los resultados del incidente. El Árbol de Sucesos se desarrolla tan lejos como sea el resultado que se quiere obtener en el estudio. Lo más razonable es llevar el análisis hasta la ocurrencia del accidente mayor.
 5. Estimar la probabilidad de ocurrencia de cada suceso. A cada nodo, así como a la ocurrencia del suceso iniciador le corresponde una probabilidad de que ese suceso haya ocurrido.
 6. Clasificar los resultados y determinar su probabilidad. La frecuencia de cada resultado es determinada multiplicando la frecuencia de ocurrencia del suceso iniciador con las probabilidades condicionales a lo largo de cada camino de desarrollo hasta el suceso final. El cálculo no asume la dependencia de sucesos parciales.

La ruta metodológica para la determinación del Árbol de Sucesos y se basó en los datos obtenidos de la Base de Datos *MHIDAS*, los valores probabilísticos establecidos por él en cada una de las bifurcaciones para cada nodo de decisión pueden ser utilizados con gran confiabilidad y certeza, más la autor de la presente investigación propone recalcularlos algunos de ellos por tener disponibilidad de datos aplicados a la planta objeto de estudio [49].

En la siguiente tabla se muestran los nodos de decisión que se expondrán en el Árbol de Sucesos correspondiente al capítulo 3 para el gas natural y se explica dónde se utilizan los calculados según la metodología de Wells, (2003) y dónde se utilizan los re calculados por el autor de la investigación.

Tabla 2.5 Nodos de decisión para el Árbol de Sucesos del gas natural y probabilidades utilizadas.

Nodos de decisión	Probabilidades utilizadas.
1. Tipo de atmósfera	Según el autor
2. Ignición inmediata	Según metodología Wells, (2003)
3. Ignición retardada	Según el autor
4. VCE	Según metodología Wells, (2003)
5. Aislamiento en SES	Según el autor
6. Lucha eficaz contra incendios	Según metodología Wells, (2003)
7. Intrusión de llama	Según metodología Wells, (2003)

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se explica el proceder utilizado por el autor para el cálculo de cada una de sus probabilidades.

1^{er} nodo: Tipo de atmósfera.

1. Según las categorías de Pasquill establecidas para cada tipo de atmósfera se consulta cuáles de estas son las más probables para el día, para la noche y para el período de calma.
2. Según el Registro Climatológico de la Estación de Varadero se toman los valores medios de las variables climatológicas y se establecen los dos tipos de atmósferas más probables.

3^{er} nodo: Ignición retardada.

1. Se establecen inicialmente todas las fuentes de ignición probables dentro de la planta y en sus cercanías aledañas y, mediante la rosa de los vientos se ubican direccionalmente cada una de estas con respecto a la SES.
2. Mediante el *Software ALOHA* se determina cuáles son las “fuentes reales” de ignición. Una vez que éste muestre las áreas de atmósferas peligrosas, aquellas fuentes que se encuentren dentro de los límites de inflamabilidad serán las consideradas como “fuentes reales”.
3. La probabilidad de ocurrencia de la ignición retardada se determina como la sumatoria de la frecuencia de las direcciones del viento en las cuales se encuentran las “fuentes de ignición reales”. (Los valores de frecuencia se encuentran en el Registro Climatológico).
4. La probabilidad de que no ocurra la ignición retardada se busca convencionalmente de la forma: $(1 - \text{probabilidad que ocurra})$.

5^{to} nodo: Aislamiento de la SES.

El aislamiento de la SES, propiamente dicho, se traduce como la operación de poner fuera de servicio la SES, es decir, desviar el flujo de crudo proveniente del campo hacia el tanque 14, sin pasar previamente por los intercambiadores de calor, las balas separadoras y el tanque de tratamiento dinámico. A continuación, se explican los pasos para determinar dicho nodo:

1. Se contabilizan los incidentes ocurridos en la SES y de ellos se extraen aquellos donde se aisló la SES.
2. El número de incidentes donde se aisló la SES dividido por el total de incidentes mostrará la probabilidad de que quede aislada la SES.
3. La probabilidad de que no se aisle la SES se determina como: $1 - \text{probabilidad de que se aisle la SES}$.

Para el Árbol de Sucesos correspondiente a la nafta los nodos de decisión y las probabilidades quedan establecidos de la siguiente forma:

Tabla 2.6. Nodos de decisión para el Árbol de Sucesos de la nafta y sus probabilidades.

Nodos de decisión	Probabilidades utilizadas.
1. Tipo de atmósfera	Según el autor
2. Ignición del charco	Según Sánchez, (2016)
3. VCE.	Según el autor
4. Acciones de mitigación	Según Wells, (2003)

Fuente: elaboración propia.

Metodología propuesta para calcular las nuevas probabilidades.

El primer nodo de decisión y el tercero se calculan de forma análoga a los calculados para el gas.

2.6.3 Software ALOHA. Características Fundamentales

Se utiliza la versión 5.4.7 del 2019, la cual reporta resultados confiables. Una de las características que posee es que emplea una serie de términos no conocidos relacionados con la ocurrencia del fuego, explosiones, y otros escenarios peligrosos, a lo cual se hace referencia:

- Se modelan tres categorías peligrosas:
 - Dispersión de gas tóxico
 - Fuegos
 - Explosiones
- Se basan en los modelos de dispersión del aire para estimar el movimiento y dispersión de la nube de gas químico.
- Se estima la dispersión de la nube de gas tóxico, valores de sobrepresión desde la explosión de una nube de vapor y el área inflamable de la nube de vapor.
- Modela las áreas para emisiones de corta duración de compuestos peligrosos claves: tóxicos, inflamables, radiación térmica y sobrepresión que pueden exceder los niveles de interés especificados por el usuario (*Levels of Concern* LOCs). Los resultados son representados en diagramas “Y” contra “X” donde nos indica la amplitud del área de localización en el eje “Y” y su alcance en el eje “X”. (*Threatzoneplot*).
- Constituye una herramienta que se usa para:
 - Respuesta de emergencia
 - Planificación

- Propósitos académicos
- No puede ser usado para:
 - Emisiones de sustancias radioactivas.
 - Licencias ambientales de chimeneas de gas.
 - Emisiones fugitivas.

Para modelar la dispersión de los componentes químicos en el aire ALOHA utiliza dos modelos:

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

Algunos de los términos usados son:

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

Botta (2012) y Martinez (2016) define las propiedades que condicionan un fuego de acuerdo a lo planteado como [76; 77]:

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

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

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

- Se utilizan tres valores de LOC, medidos en kW/m²
 - Rojo: 10 kW/m². Potencialmente letal en el intervalo de 60 segundos.

- Naranja: 5 kW/m². Quemaduras de segundo grado en el intervalo de 60 segundos.
- Amarillo: 2 kW/m². 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, estos son:

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

ALOHA no modela los fragmentos peligrosos de una explosión.

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

- Dardos de fuego
- Piscinas de fuego
- BLEVE
- Nubes inflamables
- VCE

La explicación de estos escenarios puede verse en el manual de usuario *ALOHA*.

Otras particularidades del *Software* son:

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

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

Además, el modelo no incorpora efectos de:

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

El programa cuenta con una base de datos de compuestos químicos de interés, sobre la base de datos *DIPPR* (*Department of Chemical Engineering of Brigham Young*

UniversityfortheDesignInstituteforPhysicalProperty Data (DIPPR) of the American Institute of ChemicalEngineers) donde aparecen las principales propiedades físicas y químicas y tiene en cuenta a diferencia de versiones anteriores algunas soluciones, tales como ácidos anhídridos en agua y ácidos fluorhídricos en agua.

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

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

En el caso que se suministre que ocurre la inversión hay que dar la altura a la cual ocurre este proceso. Para entregar los datos de humedad del aire se podrá indicar el valor particular o dar los casos extremos, húmedo, medio o seco.

Para la mejor comprensión de los resultados cualitativos de este *Software* se hace referencia a los diferentes *LOC* que se utilizan [78]:

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 de exposición a emergencias, *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.

2.6.4 Método “Probit”

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

La fórmula empleada para este modelo de vulnerabilidad se basa en una función matemática lineal de carácter empírico extraída de estudios experimentales:

$$Pr = a + b \ln V$$

Donde:

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

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

b = Constante dependiente del tipo de carga de exposición.

V = Variable que representa la carga de exposición.

El valor *Probit* permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte a causa de una carga de exposición determinada. Con este valor se busca el porcentaje de personas implicadas en la siguiente tabla.

Tabla 2.7. Equivalencia entre valores *Probit* y porcentaje de la población afectada.

Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%		
0	0	3,72	10	4,16	20	4,48	30	4,75	40	5,00	50	5,25	60	5,52	70	5,84	80	6,28	90	7,33	99,0
2,67	1	3,77	11	4,19	21	4,50	31	4,77	41	5,03	51	5,28	61	5,55	71	5,88	81	6,34	91	7,37	99,1
2,95	2	3,82	12	4,23	22	4,53	32	4,80	42	5,05	52	5,31	62	5,58	72	5,92	82	6,41	92	7,41	99,2
3,12	3	3,87	13	4,26	23	4,56	33	4,82	43	5,08	53	5,33	63	5,61	73	5,95	83	6,48	93	7,46	99,3
3,25	4	3,92	14	4,29	24	4,59	34	4,85	44	5,10	54	5,36	64	5,64	74	5,99	84	6,55	94	7,51	99,4
3,36	5	3,96	15	4,33	25	4,61	35	4,87	45	5,13	55	5,39	65	5,67	75	6,04	85	6,64	95	7,58	99,5
3,45	6	4,01	16	4,36	26	4,64	36	4,90	46	5,15	56	5,41	66	5,71	76	6,08	86	6,75	96	7,65	99,6
3,52	7	4,05	17	4,39	27	4,67	37	4,92	47	5,18	57	5,44	67	5,74	77	6,13	87	6,88	97	7,75	99,7
3,59	8	4,08	18	4,42	28	4,69	38	4,95	48	5,20	58	5,47	68	5,77	78	6,18	88	7,05	98	7,88	99,8
3,66	9	4,12	19	4,45	29	4,72	39	4,97	49	5,23	59	5,50	69	5,81	79	6,23	89	7,33	99	8,09	99,9

Fuente: Domínguez, J.R (2014).

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

2.6.4.1 Vulnerabilidades a radiaciones térmicas

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

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

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

La Organización Holandesa *TNO* presenta las ecuaciones "*Probit*" siguientes:

Quemaduras mortales: $Pr = -37,23 + 2,56 \ln (t I^{4/3})$

Quemaduras de segundo grado: $Pr = -43,14 + 3,0188 \ln (t I^{4/3})$

Quemaduras de primer grado: $Pr = -39,83 + 3,0186 \ln (t I^{4/3})$

Donde:

t = Tiempo efectivo de exposición en segundos.

I = Intensidad de irradiación en W/m^2 .

2.6.4.2 Vulnerabilidades a explosiones.

Los modelos de consecuencias de explosiones predicen el impacto de la sobrepresión originada por la explosión y la proyección de fragmentos volantes sobre las personas y objetos.

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

Las ecuaciones "Probit" para estas consecuencias se han tomado de Domínguez, (2014) y se desglosan a continuación:

➤ Rotura de tímpano

El porcentaje de afectados por rotura de tímpano se determina por la ecuación:

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

P = sobrepresión máxima (N/m^2)

➤ Muerte por impacto del cuerpo

El porcentaje de muertes por desplazamiento y colisión del cuerpo contra obstáculos se determina por la ecuación:

$$Pr = - 46,1 + 4,82 \ln J \quad (2.7)$$

Donde J = impulso originado por la sobrepresión durante el tiempo de actuación (Ns/m^2).

➤ Lesiones por impacto del cuerpo

El porcentaje de lesionados por desplazamiento y colisión del cuerpo contra obstáculos se determina por la ecuación:

$$Pr = 39,1 + 4,45 \ln J$$

Donde J = impulso (Ns/m^2).

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

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

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

Conclusiones parciales

Se caracterizó la empresa y el área donde se realizó la investigación, así como una breve descripción del proceso de la Planta de Procesamiento de Crudo, se realiza un análisis de los procedimientos consultados en cuanto a sus fortalezas y debilidades, queda elaborado un procedimiento para la evaluación de los riesgos tecnológicos para el desarrollo de la investigación.

3. CAPÍTULO III. APLICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO PROPUESTO Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Todo proyecto o investigación que se pone en marcha, lo motiva la respuesta o cumplimiento a los determinados objetivos que han sido propuestos. Su punto final no lo constituyen precisamente los valores cualitativos o cuantitativos que se puedan llegar a obtener, sino el análisis y la convicción que se pueda tener sobre dichos resultados; lo lógico y positivo de cada uno de ellos para tenerlo en cuenta y validarlo, o lo ilógico y negativo para ser desechado. Por lo tanto, este capítulo se da respuesta a las etapas II y III del procedimiento seleccionado.

3.1 Selección y formación del equipo de trabajo

Para la selección de los expertos se utilizó el método coeficiente de competencia, el cual se determina de acuerdo con la opinión del experto sobre su nivel de conocimiento con respecto al problema que se está resolviendo y con las fuentes que le permiten comprobar su valoración. El coeficiente de competencia se calcula de la siguiente forma.

$$K = 1/2 (Kc + Ka)$$

Dónde:

Ka: es el coeficiente de argumentación

Kc: es el coeficiente de conocimiento o información que tiene el experto respecto al problema, calculado sobre la valoración del propio experto.

Los posibles expertos, a quienes se les aplicó el método propuesto se encuentran en la tabla 3.1:

Tabla 3.1. Posibles expertos para realizar el estudio.

Posible experto	Cargo	Grupo de trabajo
Posible experto 1	Director de la UEB de Producción	Raúl Sablón Hernández
Posible experto 2	Especialista "A" Extracción de Petróleo y Gas (EP)	Omar León Valdés
Posible experto 3	Jefe de Operaciones	Israel Rodríguez Carmentate
Posible experto 4	Jefe de la PPC	Gustavo Zamora Córdova
Posible experto 5	Tecnólogo "A" de Procesos Industriales	Mileida Ramírez Ramírez
Posible experto 6	Jefe de Turno	Marlon Alberto Tamayo Jorrín
Posible experto 7	Tecnólogo "A" de Procesos Industriales (EP)	Máximo Badia Díaz
Posible experto 8	Especialista "C" en Seguridad y Salud en el Trabajo	Darian González Otero
Posible experto 9	Especialista "B" en Seguridad y Salud en el Trabajo	Yulay Camejo Argüelles

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo a la opinión de los expertos sobre su nivel de conocimiento con respecto al tema y con las fuentes que le permiten comprobar su valoración. Finalmente se comprobó científicamente que los 9 trabajadores previamente escogidos estaban dentro de la categoría de expertos (calificaciones entre 0,80 y 1,00), por lo tanto, se considera que son expertos, el resultado se muestra en la tabla 3.2.

Tabla 3.2. Resultados del coeficiente de competencia.

Coeficiente de competencia (k)	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
Kc	1	0,98	1	0,99	0,9	0,93	0,88	1	1
Ka	0,95	0,87	0,92	0,9	0,84	0,8	0,81	0,96	0,93
K	0,98	0,93	0,96	0,95	0,87	0,87	0,85	0,98	0,97

Fuente: elaboración propia.

3.2 Análisis de los resultados.

A continuación, se muestran los principales resultados obtenidos de la confección del Árbol de Sucesos para el gas natural y la nafta, y sus análisis correspondientes, así como los resultados del Análisis histórico de accidentes, las atmosferas peligrosas y las afectaciones obtenidas mediante Probit

3.2.1 Análisis del Árbol de Sucesos para un escape de gas natural en la SES.

En la figura 3.1 se muestra el Árbol de Sucesos correspondiente a un probable escape de gas natural en el área de SES.

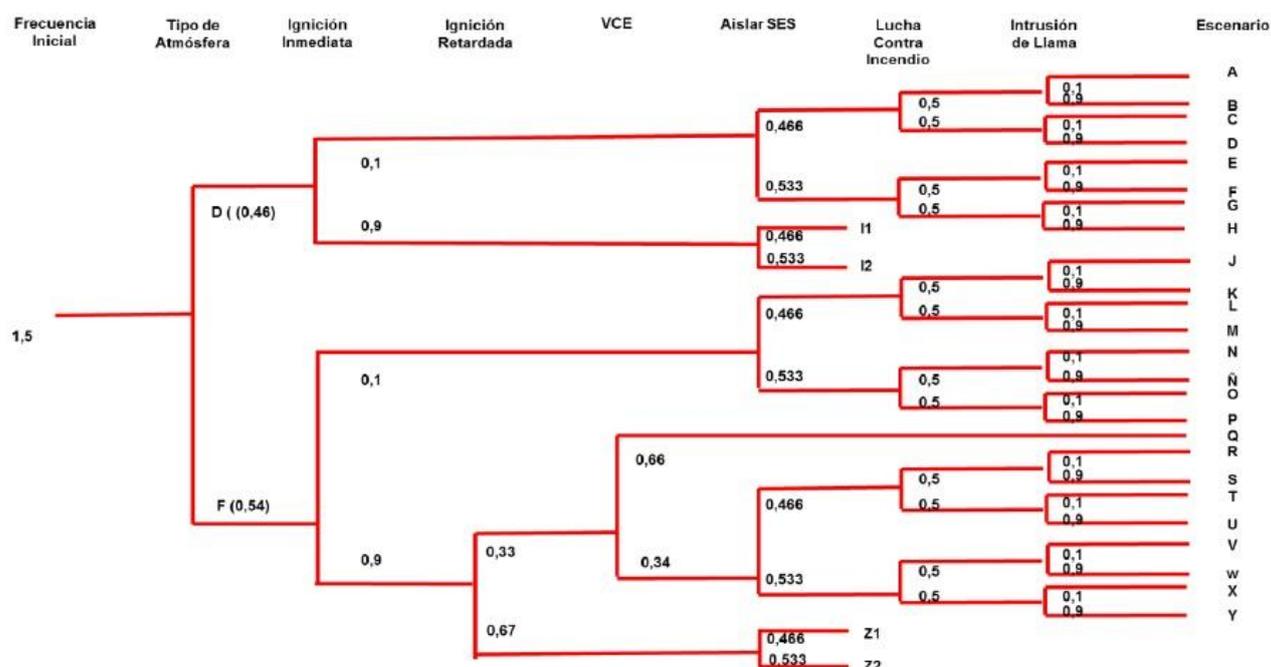


Figura 3.1. Árbol de Sucesos para el gas natural en la SES.

Fuente: elaboración propia.

Para la confección de este árbol teniendo en cuenta que la metodología establece la determinación de un suceso iniciador fue necesario determinar la frecuencia de ocurrencia de escapes de gas en dicha área, la frecuencia de ocurrencia se determina a través de un Análisis Histórico de Accidentes. Éste análisis se realiza basándose en un Registro Histórico de Incidentes de la PPC de los últimos 10 años. En este período fueron registrados 15 escapes de gas natural, lo cual arroja una frecuencia de 1,5 a⁻¹, valor este notablemente alto en comparación con resultados mostrados por Wells, (2003) que se encuentran en el orden de 10⁻⁴ a⁻¹. Los resultados numéricos de los escenarios finales del árbol se muestran en el anexo 4

Una vez determinada la frecuencia del suceso iniciador se determinan las probabilidades correspondientes a cada uno de los nodos de decisión del árbol.

Las estabildades atmosféricas correspondientes al primer nodo de decisión se establecen teniendo en cuenta la Tabla de Categorías de estabilidad de Pasquill, (ver tabla 1.1) así como otras consideraciones respecto a las horas de insolación o día y de noche o nublado, y a las frecuencias y direcciones de los vientos correspondientes al terral y las brisas. Pasquill establece que las mayores estabildades atmosféricas corresponden a las horas de noche y las menores a los días. Teniendo en cuenta la ubicación de la PPC se puede concluir que las brisas provienen de direcciones del viento entre el N y el E, correspondientes éstas a las horas de día y a las mayores velocidades del viento, lo cual favorece la inestabilidad atmosférica. El terral, correspondiente a las horas de noche proviene de direcciones entre el S y el W, donde las velocidades del viento son notablemente menores, por lo que se favorece la estabilidad. Como se observa, éste análisis coincide plenamente con las categorías de Pasquill de estabilidad. Visto esto, se establecen las horas de día con estabilidad "D" y las noches con "F", determinadas en función de las condiciones atmosféricas de la zona. Casal *et al.*, (2001) consideran que las horas de día o insolación están comprendidas desde una hora después del amanecer hasta una hora antes del anochecer, estableciendo que amanece a las 7:00 a.m. y anochece a las 8:00 p.m. se tendrán 11 horas de día y 13 horas de noche y por tanto, probabilidades de 0,46 y 0,54 para estabilidad "D" y "F" respectivamente.

Las probabilidades correspondientes a la ignición inmediata se toman de la bibliografía especializada correspondiente a Wells, (2003) [49].

Basado en la metodología establecida para la determinación de las probabilidades de una ignición retardada se establecen las posibles fuentes de ignición, así como su ubicación respecto a la fuente de emisión y las distancias hasta las mismas, como se muestra en la tabla 3.3:

Tabla 3.3. Posibles fuentes de ignición ante un escape de gas natural en la SES.

Fuente de ignición	Ubicación respecto a la fuente	Dirección del viento	Distancia a la fuente. (m)
Flare de PPC	SSW	NNE	224
Flare de ENERGAS	WSW	ENE	447
Calderas	NNW	SSE	247
Taller mecánico	NNW	SSE	323
Grupo electrógeno	NNW	SSE	292
Bombas Magistrales	WSW	ENE	119
Turbinas ENERGAS	W	E	244
Taller eléctrico	NE	SW	364

Fuente: elaboración propia.

Una vez establecidas las fuentes de ignición se evalúa mediante el *Software ALOHA* cada una de estas direcciones del viento en ambas estabilidades y las condiciones atmosféricas del área para el escenario nube inflamable. Las longitudes de las áreas de atmósferas peligrosas se muestran en el anexo 5a donde los LOC corresponden al 10, 60 y 100% del LEL. Para ello se establece que las áreas que superen el 60% del LEL tendrán condiciones de inflamabilidad.

En la tabla 3.4 se muestra las posibles áreas con potencial de ignición para las estabilidades “D” y “F” en función de las fuentes de ignición.

Tabla 3.4. Distancias con potencial de ignición ante un escape de gas natural en SES.

Fuente de ignición	Distancia de SES a la fuente de ignición. (m)	Distancias con potencial de ignición. (m)	
		Estabilidad “D”	Estabilidad “F”
Flare de PPC	224	59	75
Flare de ENERGAS	447	58	73
Calderas	247	61	79
Taller mecánico	323	61	79
Grupo electrógeno	292	61	79
Bombas Magistrales	119	58	73
Turbinas ENERGAS	244	58	74
Taller eléctrico	364	63	84
CALMA		126	

Fuente: elaboración propia.

La dimensión de las áreas muestra que bajo las condiciones de estabilidad “D” las posibles fuentes de ignición siempre se encuentran fuera de las zonas con condiciones inflamables. Para estas mismas direcciones y estabilidad “F” las zonas con características inflamables tampoco alcanzan las fuentes de ignición, sin embargo, en las condiciones de Calma, se alcanzan condiciones de inflamabilidad hasta los 126 metros, encontrándose las Bombas Magistrales a 119 metros de la fuente de emisión; por lo que se designa el área de las Bombas Magistrales como “fuente real de ignición”. La figura 3.2 muestra cómo se ve

implicada el área de las Bombas Magistrales dentro del área naranja correspondiente a valores del LOC- 2.

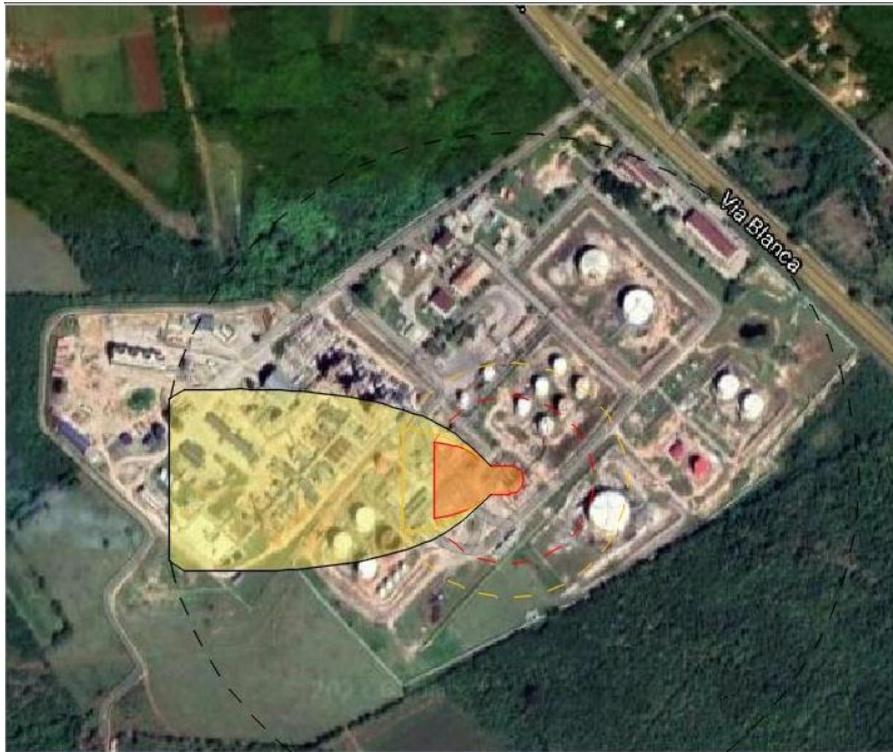


Fig. 3.2: Nube inflamable bajo condiciones de Calma en SES.

Fuente: elaboración propia.

Para este mismo escenario en las diferentes direcciones del viento evaluadas se muestran los resultados en el anexo 5a.

Analizado lo anterior queda establecida la frecuencia correspondiente al estado de Calma (0,33) como la probabilidad de una ignición retardada.

Según Wells, (2003) la VCE se verifica en atmósferas con estabilidades “D” y “F” con una probabilidad de 0,25 y 0,66 respectivamente, pues según Santos, (2010) las nubes, aunque posean condiciones inflamables y se encuentren en presencia de una fuente de ignición, no necesariamente explotarán, sino que pueden formar una llamarada incapaz de originar sobrepresión. En el caso de estudio dado que se determina que bajo estabilidades “D”, nunca la nube alcanza las posibles fuentes de ignición con condiciones de inflamabilidad, y no ocurrirá pues la explosión de la nube, se desecha esta posibilidad, y se tiene solamente una Nube Tóxica bajo estas condiciones. En condiciones estables donde sí existe probabilidad de ignición retardada se asume el valor obtenido por Wells (2003) y se considera entonces la explosión de la nube. Según Santos, (2010) la VCE ocurre generalmente en un período de tiempo comprendido entre 1 y 15 minutos después de ocurrir la avería y solo en casos escasos ocurre en tiempos superiores a éste; en el caso de estudio la nube con condiciones

de inflamabilidad alcanza la fuente de ignición, (Bombas Magistrales) a los 6 minutos aproximadamente como se muestra en la figura 3.3.

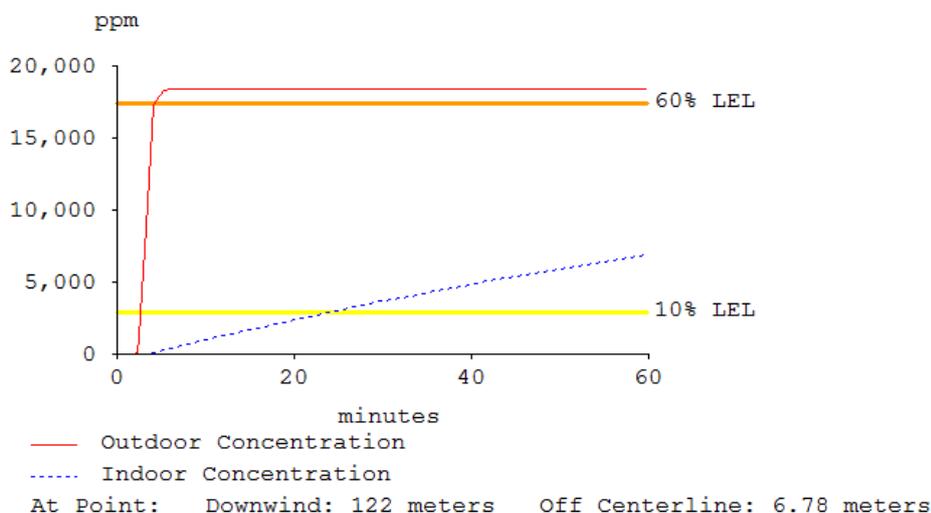


Figura 3.3: Comportamiento de la concentración de la nube de gas natural en estado de Calma a los 122 metros de la fuente.

Fuente: Salida del ALOHA.

Este resultado coincide con el período de tiempo establecido por Santos, (2010), en consulta con los Jefes de Turno de la PPC se constata que las operaciones para poner fuera de servicio la SES pueden demorar entre 15 y 30 minutos dependiendo de la disponibilidad de operadores y la distancia a la que se encuentren estos del área, dado que este tiempo excede el tiempo en que se alcanza la fuente de ignición y además el rango establecido por Santos, (2010) no se tiene en cuenta el aislamiento de la SES como una posibilidad para la VCE.

Para el resto de las cadenas de sucesos se tiene en cuenta la probabilidad de aislamiento de la SES, procedimiento que debe llevarse a cabo para minimizar los riesgos y afectaciones ante una avería. Esta probabilidad se determina también a partir del Registro de Incidentes mediante un Análisis Histórico, teniendo en cuenta el total de averías y en cuántas de ellas se aisló el área. Solamente en 7 de las 15 averías, se procedió operacionalmente a aislar la SES, para un valor probabilístico de 0,46 y por consiguiente, un 0,54 de probabilidad de veces donde no se aisló.

Para las acciones de mitigación o lucha contra incendios Wells, (2003) define que deben establecerse las probabilidades de ocurrencia o no, iguales a 0,5 cada una de ellas. De igual forma interviene en el nodo correspondiente a la intrusión de llama, donde acentúa que la

posibilidad de que ocurra intrusión de llama tiene un valor de 0,1 mientras la posibilidad de que no exista, será igual a 0,9.

Establecidas las probabilidades de cada nodo, basados en la cadena de sucesos y lo reportado por la bibliografía; se determinan los distintos escenarios que pueden tener lugar y sus correspondientes frecuencias de ocurrencia, los cuales se muestran en el anexo 3, donde se le asigna a cada escenario producto de una cadena de sucesos una letra.

La siguiente tabla muestra los posibles escenarios y su frecuencia total probable. La frecuencia total de ocurrencia para cada escenario, se determina como la sumatoria de las frecuencias de todas aquellas cadenas de sucesos que tengan como resultado el mismo escenario. Obteniéndose de esta manera la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Frecuencias totales de los escenarios obtenidas en el Árbol de Sucesos correspondiente a la SES.

Escenarios	Frecuencia (a-1)
<i>Jet Fire</i>	0,2331
<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0115
Nube tóxica	1,1082
<i>VCE</i>	0,159

Fuente: elaboración propia.

El escenario de mayor frecuencia es la Nube Tóxica, cuya frecuencia supera el valor unitario anual, resultado que coincide con lo reportado en el Registro de Incidentes de la PPC donde solo han sucedido escapes de gas. La frecuencia de ocurrencia del resto de los escenarios es notablemente más baja, siendo el mayor el *Jet Fire* cuya frecuencia unitaria se alcanza al cabo de 4,29 años, seguido de la *VCE* con 6,29 años y el *Jet Fire/BLEVE* con 87 años. Esto indica que es muy probable que ocurra un *Jet Fire* y una *VCE* en períodos de tiempo relativamente cortos. El hecho de que estos escenarios no hayan tenido lugar en la PPC no implica motivo de tranquilidad sino la posibilidad real de que pueda ocurrir en cualquier momento con las afectaciones humanas, económicas y ambientales que implica. Afortunadamente el escenario *Jet Fire/BLEVE* posee una frecuencia de ocurrencia mucho menor que la del resto de los escenarios, pues es este el escenario más devastador según Díaz, (2013) en la industria del petróleo y sus derivados.

Atendiendo a los valores referidos en la tabla 3.5 resultantes del Árbol de Sucesos y teniendo en cuenta la escala establecida por Santos, (2010) mostrada en la tabla 1.3 puede clasificarse la ocurrencia del suceso *Jet Fire/BLEVE* como probable, mientras los demás

escenarios se consideran frecuentes; lo cual indica el alto riesgo que representa una avería en esta área.

Puede destacarse que aquellos escenarios que ocurren en cadenas de sucesos donde no se aísla la SES deben tener áreas peligrosas mucho mayores que en el caso donde se aísla, dado que la fuente de emisión mantendría un comportamiento continuo al mantenerse las balsas separadoras en operación continua.

3.2.2 Análisis del Árbol de Sucesos para un derrame de nafta en el almacén de nafta de la ECO.

Se confecciona el Árbol de Sucesos para un derrame de nafta en el almacén de nafta de la ECO como se muestra en la figura 3.4.

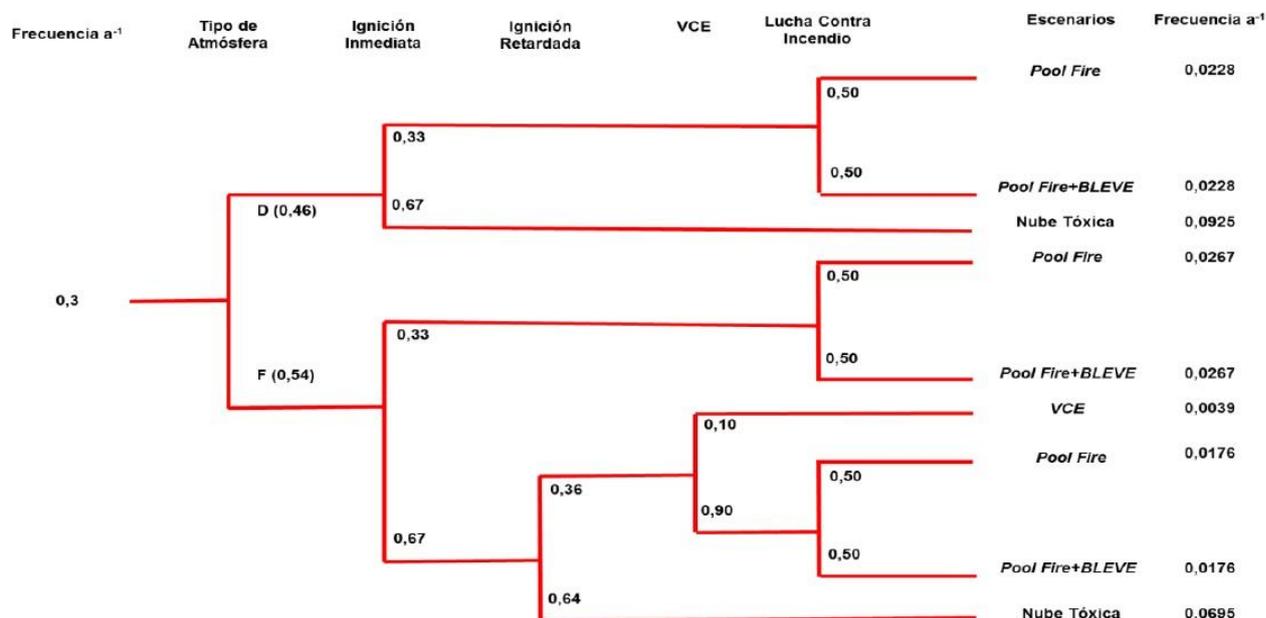


Figura 3.4. Árbol de Sucesos para un derrame de nafta en el almacén de nafta de la ECO.

Fuente: elaboración propia.

Los nodos frecuencia de ocurrencia y tipo de atmósfera del árbol se determinan análogos al árbol del gas natural, mientras el nodo correspondiente a la probabilidad de una ignición inmediata se establece según Sánchez, (2016).

Para establecer las probabilidades del nodo ignición retardada también se sigue el mismo procedimiento que en el árbol anterior, estableciendo como posibles fuentes de ignición las mostradas en la tabla 3.6.

Tabla 3.6. Posibles fuentes de ignición para un derrame de nafta en el almacén de nafta.

Fuente de ignición	Ubicación respecto a la fuente	Dirección del viento	Distancia a la fuente. (m)
Flare de PPC	SSE	NNW	70
Flare de ENER GAS	W	E	250
Calderas	NNE	SSW	300
Taller mecánico	N	S	400
Grupo electrógeno	NNE	SSW	350
Bombas Magistrales	NNE	SSW	50
Turbinas ENER GAS	NNW	SSE	180
Taller eléctrico	NE	SW	600

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3.7 se muestran las posibles áreas con potencial de ignición para las estabilidades “D” y “F” en función de las fuentes de ignición.

Tabla 3.7. Distancias con potencial de ignición ante un derrame de nafta en el almacén de nafta.

Fuente de ignición	Distancia de SES a la fuente de ignición. (m)	Distancias con potencial de ignición. (m)	
		Estabilidad “D”	Estabilidad “F”
Flare de PPC	70	35	60
Flare de ENER GAS	250	32	54
Calderas	300	45	75
Taller mecánico	400	44	72
Grupo electrógeno	350	45	75
Bombas Magistrales	50	45	75
Turbinas ENER GAS	180	53	86
Taller eléctrico	600	52	83
CALMA		159	

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en el caso de un derrame de nafta, las “fuentes reales de ignición” están constituidas por las Bombas Magistrales bajo estabilidad “F” en estado de Calma; además para la Calma también se considera “fuente real de ignición” al flare de la PPC.

Las áreas implicadas en la fuente de ignición Bombas Magistrales con estabilidad “F” y en estado de Calma se muestran en la figuras 3.5 y 3.6 respectivamente.



Figura 3.5. Áreas de atmósferas peligrosas para el escenario nube inflamable con fuente de ignición Bombas Magistrales y estabilidad "F".

Fuente: elaboración propia.

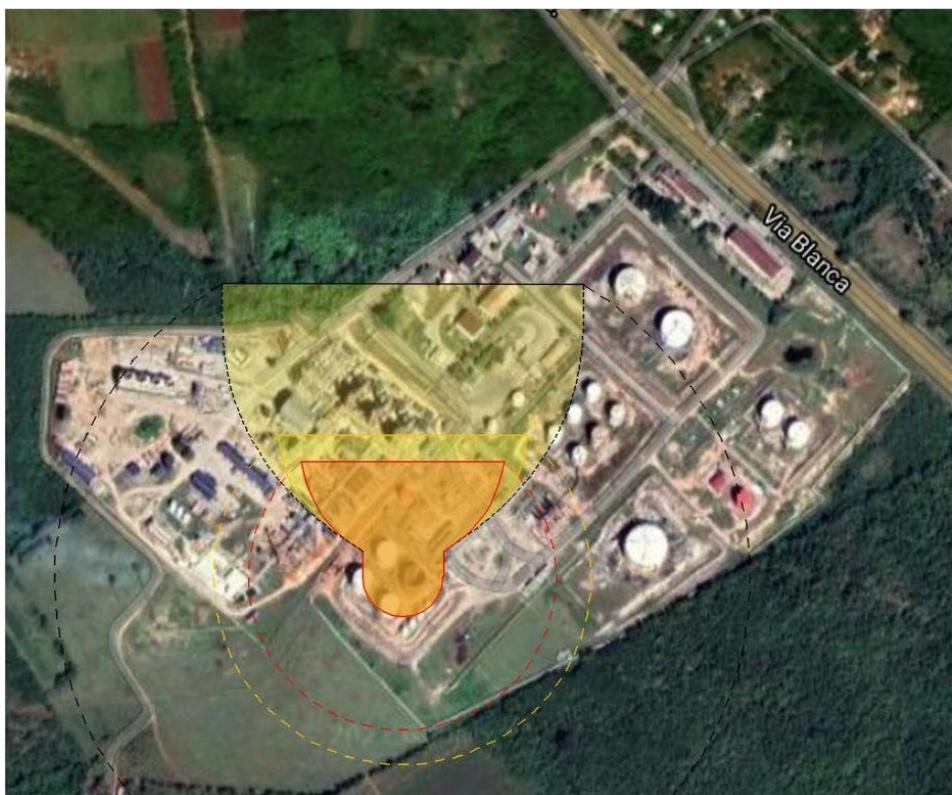


Figura 3.6. Áreas de atmósferas peligrosas para el escenario nube inflamable en estado de Calma.

Fuente: elaboración propia.

De igual forma toda el área comprendida entre la circunferencia naranja definida por sus respectivas líneas de confianza, (línea discontinua naranja), posee condiciones de inflamabilidad si se expone a fuentes de ignición ocasionales para el estado de calma ante variaciones en la dirección del viento.

Cuando se analiza la posibilidad de una ignición retardada en atmósferas tipo “D”, esta no tiene lugar debido a que bajo estas condiciones de atmósfera neutra la nube no alcanza ninguna fuente de ignición, por lo que se desecha la posibilidad.

El valor probabilístico de ocurrencia de una ignición retardada que se establece, corresponde a la sumatoria de los valores de frecuencia de los vientos en la dirección SSW y del estado de Calma, para un valor de 0,36.

En el caso de estudio es necesario analizar además de la posibilidad de una ignición retardada, la posibilidad de VCE, pues aun cuando las áreas de atmósferas peligrosas alcanzan una fuente de ignición esto no significa que ocurra la VCE, dado que; según Casal *et al.*, (2001) puede ocurrir una llamarada que se repliegue hasta formar un *Pool Fire*.

A las acciones de mitigación como se plantea anteriormente en lo concerniente al árbol del gas natural, le corresponden valores probabilísticos de 0,5 definidos por Wells, (2003).

En la tabla 3.8, se encuentran los valores de frecuencia total de ocurrencia de los escenarios de riesgos resultantes del Árbol de Sucesos, cada frecuencia total se determina como la sumatoria de las frecuencias de aquellas cadenas de sucesos que tengan como resultado los mismos escenarios.

Tabla 3.8. Frecuencias totales de los escenarios obtenidos del Árbol de Sucesos correspondiente al almacén de nafta.

Escenarios	Frecuencia total (a-1)
<i>Pool fire</i>	0,0671
<i>Pool fire/BLEVE</i>	0,0671
Nube tóxica	0,162
VCE	0,0039

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse el escenario más frecuente lo constituye la nube tóxica, al igual que en el gas natural, para este caso la frecuencia unitaria del escenario se verificaría cada 6,17

años, seguido del *Pool Fire* y el *Pool Fire/BLEVE* con períodos probables de aparición de 14,9 años. El escenario de menor frecuencia de ocurrencia será la *VCE* el cual se verificaría cada 256 años.

Es importante señalar el hecho de que las frecuencias probables de ocurrencia de la Nube Tóxica y la *VCE* para el caso de la nafta son menores que para el gas, sin embargo, la frecuencia de ocurrencia de la *BLEVE* es notablemente mayor para la nafta siendo en este caso 5,82 veces mayor.

Las frecuencias en este caso pueden clasificarse como: frecuentes para la nube tóxica, probables para el *Pool Fire* y el *Pool Fire/BLEVE* y ocasional para la *VCE*. Esto reafirma que tanto para la nafta como para el gas natural las probabilidades de ocurrencia de accidentes mayores son particularmente altas y debe constituir motivo de preocupación para todo el personal de la PPC.

Según Wells, (2003) y Sánchez, (2016) las probabilidades de ocurrencia de un suceso iniciador capaz de desencadenar accidentes mayores se encuentran en el orden de 10⁻⁴, siendo significativamente mayores las del caso de estudio con valores de 1,5 y 0,3 lo cual obviamente provoca que la posibilidad de ocurrencia de los distintos escenarios de riesgos sea alta. Por lo tanto; las acciones de todo el personal deben estar encaminadas a minimizar la cantidad de escapes y derrames de gas y nafta respectivamente mediante un estricto control del cumplimiento de los plazos de mantenimiento y la capacitación de operadores y directivos.

3.3 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas mediante ALOHA.

En este acápite quedan establecidas las principales consideraciones realizadas para la evaluación mediante el *Software ALOHA* de las áreas de atmósferas peligrosas, así como su análisis correspondiente en cada una de las zonas de la PPC que se estudian.

3.3.1 Consideraciones a tener en cuenta para la evaluación de las áreas de atmósferas peligrosas mediante el Software ALOHA.

Para la evaluación de las áreas de atmósferas peligrosas se establecen varias consideraciones con el propósito de obtener resultados representativos del área estudiada y que a su vez concuerden y complementen los resultados de las técnicas utilizadas en la investigación:

- Se evalúan solo aquellas direcciones del viento donde se puedan encontrar fuentes de ignición y personal de la PPC, tomando como referencia la SES y el almacén de nafta. Estas direcciones son mostradas en las tablas 3.1 y 3.4 para el gas natural y la nafta respectivamente.

- Evaluar las áreas de atmósferas peligrosas para las diferentes direcciones del viento y sus valores correspondientes de velocidad media para las clases de estabilidad “D” y “F”, definidas previamente en el Árbol de Sucesos, además se evalúa el estado de Calma.
- Tomar los valores medios de las variables ambientales temperatura, humedad relativa y nubosidad registrada en el Registro Climatológico de la Estación de Varadero.
- El gas natural se evalúa como etano y se determina su comportamiento a partir de la composición cromatográfica del gas según *ENERGAS*, (2017) calculando el carbono e hidrógeno medio. El análisis cromatográfico del gas se muestra en el anexo 3d.
- Para el caso de la SES se establece la fuente del escape en las líneas de recuperación de gases dado que el Registro Histórico muestra que la totalidad de los escapes han sido en el ducto, pudiendo constatarse el mal estado corrosivo de las líneas por lo que se establece en el *Software* como fuente de escape las tuberías.
- Se establece en el *Software* la fuente de escape como fuente continua puesto que, en el Árbol se analiza la posibilidad de aislar o no la SES y se evalúa en *ALOHA* para el peor escenario, el cual tendrá lugar mientras esta no se aisle. Además, es poco probable que se detecte a tiempo el escape dado que actualmente no se cuenta con instrumentación para esto y solo será detectado por el olfato, circunstancia peligrosa y que se dificulta debido a que constantemente se puede percibir el olor característico del H₂S contenido en el gas, incluso dentro de las oficinas.
- No se evalúa el escenario *BLEVE* en el área de la SES pues *ALOHA* no es capaz de modelar sistemas bifásicos y el contenido de líquido en las balas está determinado por el crudo.
- La *BLEVE* en el almacén de nafta se evalúa en estado de Calma dado que, según Díaz, (2013), este escenario no depende de las condiciones atmosféricas, sino de las sustancias y las condiciones de almacenamiento.
- La nafta se evalúa como n-hexano según Roth, (2015).
- En el caso de la nafta se establece el escape de la sustancia por rajadura en la base del tanque, en correspondencia de la totalidad de los derrames que se registran en la PPC.

3.3.2 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas para el escenario Nube Tóxica.

En este acápite se analizan las áreas de atmósferas peligrosas generadas por la Nube Tóxica ante un escape de gas y un derrame de nafta, mostradas en los anexos 5d y 6c para las direcciones del viento que se analizan respectivamente. Se realiza además una breve comparación de las mismas.

Con motivo de obtener un resultado más representativo de las condiciones más adversas bajo las cuales se puede originar la Nube Tóxica, se analizan las condiciones de Calma.

Las dimensiones de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por un escape de gas son mostradas en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Dimensiones de las áreas de atmósferas peligrosas para la Nube Tóxica bajo las condiciones de Calma en la SES.

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles	Longitud (m)	Ancho (m)
Calma	≤ 1	TEEL- 3	98	90
		TEEL- 2	273	130
		TEEL- 1	367	140

Fuente: elaboración propia.

Un análisis de las dimensiones de las áreas de atmósferas peligrosas y las áreas donde generalmente radica personal, permite establecer que serán afectadas todas las áreas de la PPC excepto las oficinas de la UEB que solo se afectan parcialmente; teniendo en cuenta que la Nube Tóxica en condiciones de Calma se verifica en cualquier dirección respecto a la fuente como se muestra en la figura 3.7.

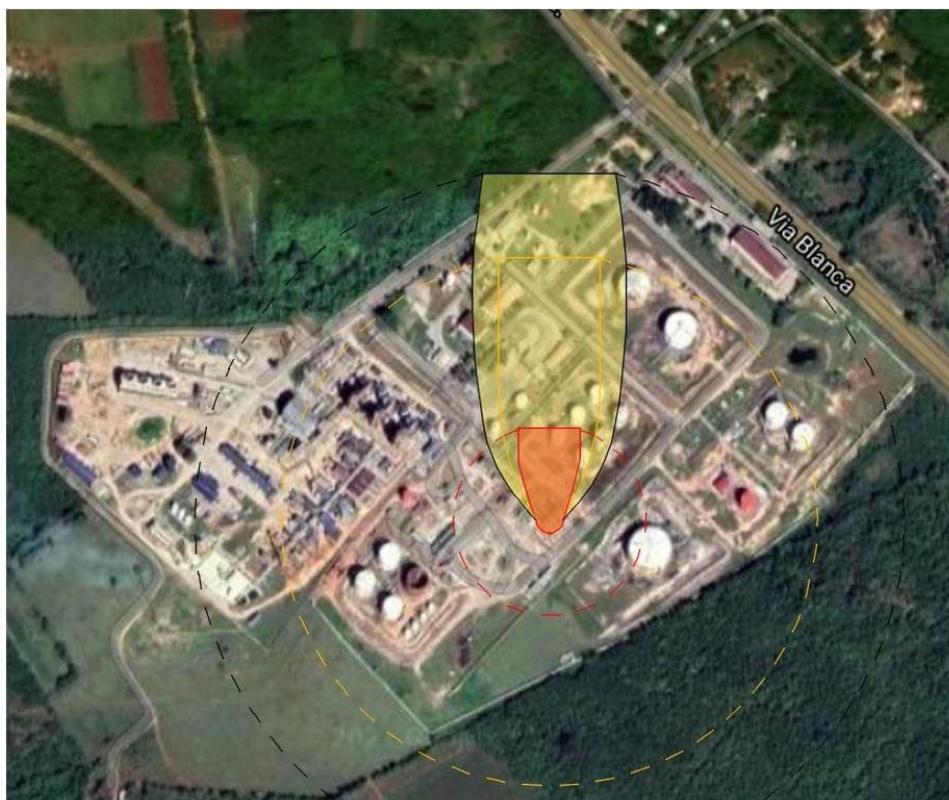


Figura 3.7. Áreas de atmósferas peligrosas de la Nube Tóxica en condiciones de Calma en la SES.

Fuente: elaboración propia.

Como se observa en la figura anterior la línea de confianza del área correspondiente al *TEEL- 1* abarca prácticamente toda el área de la PPC, zona donde se considera que los individuos expuestos pueden sufrir efectos moderados sobre su salud y percibir claramente un olor desagradable; sin embargo, el área correspondiente a las afectaciones del *TEEL- 2* abarca todo el espacio operacional de la PPC. El personal presente en áreas con esta concentración puede sufrir efectos irreversibles sobre su salud o síntomas que les impida tomar decisiones para protegerse. El área roja correspondiente al *TEEL- 3* afortunadamente no afecta directamente ningún área donde se encuentren permanentemente operadores, aunque no se descarta la afectación a los mismos o personal de mantenimiento que se encuentren en ella en el momento del escape. De existir presencia de personas estas sufrirán riesgos para su vida.

Las distintas áreas donde radica personal de la PPC con su correspondiente afectación en caso de averías y la cantidad de personal aproximada se muestran en la tabla 3.10.

Tabla 3.10. Afectaciones de la Nube Tóxica por área de trabajo ante un escape de gas natural.

Área	Afectación	Cantidad de trabajadores
Bombas Magistrales	<i>TEEL- 2</i>	2
Oficina del Jefe de Turno	<i>TEEL-2</i>	6
Calderas	<i>TEEL-2</i>	3
Taller mecánico de atención a la PPC	<i>TEEL-1</i>	8
Grupo Electrógeno	<i>TEEL- 1</i>	2
Oficinas de la UEB	<i>TEEL-1</i> (Parcialmente)	30
Taller eléctrico	<i>TEEL-1</i>	6
Casa de Bombas	<i>TEEL-2</i>	1

Fuente: elaboración propia.

Es necesario señalar que estas afectaciones dependen de la dirección en la cual se verifique la nube en estado de Calma puesto que, todas las áreas no se afectan simultáneamente.

ALOHA también permite predecir el comportamiento de las concentraciones en locales interiores. Se analizan todos los locales con oficinas y se detecta que solo en el caso de la

oficina del Jefe de Turno existen afectaciones en sus interiores. La figura 3.8 muestra dicho comportamiento en la Oficina del Jefe de Turno.

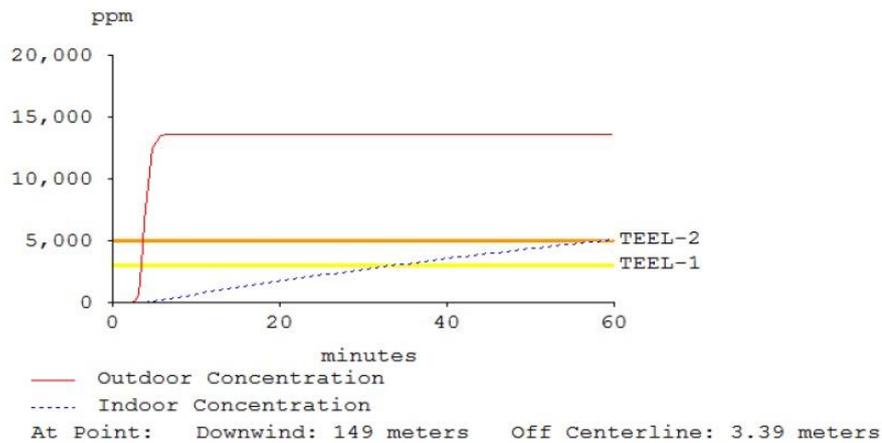


Figura 3.8. Afectaciones en local interior correspondiente a la oficina del Jefe de Turno ante una Nube Tóxica de gas natural.

Fuente: salida del ALOHA.

Como puede observarse al cabo de 37 minutos aproximadamente del escape se alcanzan concentraciones superiores al *TEEL-1* dentro de las oficinas, mientras que en el exterior las concentraciones son de *TEEL-2* a partir de los 4 minutos aproximados. Aunque dentro de las oficinas la concentración no ofrece peligro para la salud no existe ya la posibilidad de evacuar las oficinas ni de recibir ayuda del exterior sin medios de protección, pues la concentración fuera de estas impide tomar decisiones de defensa y afecta notablemente la salud; situación que se agrava a los 60 minutos en el cual las concentraciones dentro de las oficinas igualan valores de *TEEL-2*. Por tanto: las oficinas no se consideran lugares seguros.

Una vez analizadas las áreas de atmósferas peligrosas ante un escape tóxico de gas natural y sus consiguientes efectos nocivos para el personal de operación de la PPC, se analiza a continuación el mismo escenario para un derrame de nafta.

Las dimensiones de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por un derrame de nafta son mostradas en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Dimensiones de las áreas de atmósferas peligrosas para la Nube Tóxica bajo las condiciones de Calma en cualquier dirección del viento en el almacén de nafta.

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles	Longitud (m)	Ancho (m)
Calma	≤ 1	TEEL- 3	330	400
		TEEL- 2	646	500
		TEEL- 1	813	600

Fuente: elaboración propia.

De igual forma que en el caso del gas natural, se determinan las áreas afectadas por la nube, en este caso se afectan con *TEEL- 3* todas las áreas que se estudian excepto el taller mecánico, el grupo electrógeno, el taller eléctrico y las oficinas de la UEB, las cuales se ven inmersas dentro del *TEEL- 2*. Puede observarse en la figura 3.9.

En la figura 3.9 se aprecia que el área que abarca la nube de nafta es significativamente mayor que la que describe la nube de gas natural mostrada con anterioridad en la figura 3.7; por lo que, las afectaciones pertinentes son notablemente mayores.

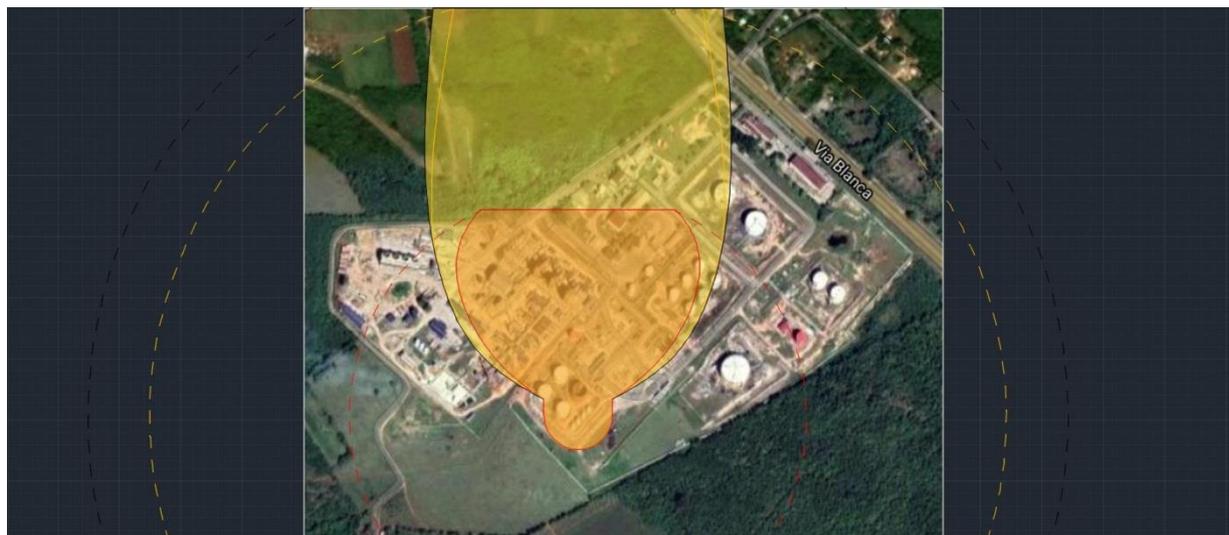


Figura 3.9. Áreas de atmósferas peligrosas de la Nube Tóxica en condiciones de Calma en el almacén de nafta.

Fuente: elaboración propia.

Referido a las afectaciones en locales interiores para este escenario se señala que solo existen afectaciones en la oficina del Jefe de Turno como se muestra en la fig. 3.10.

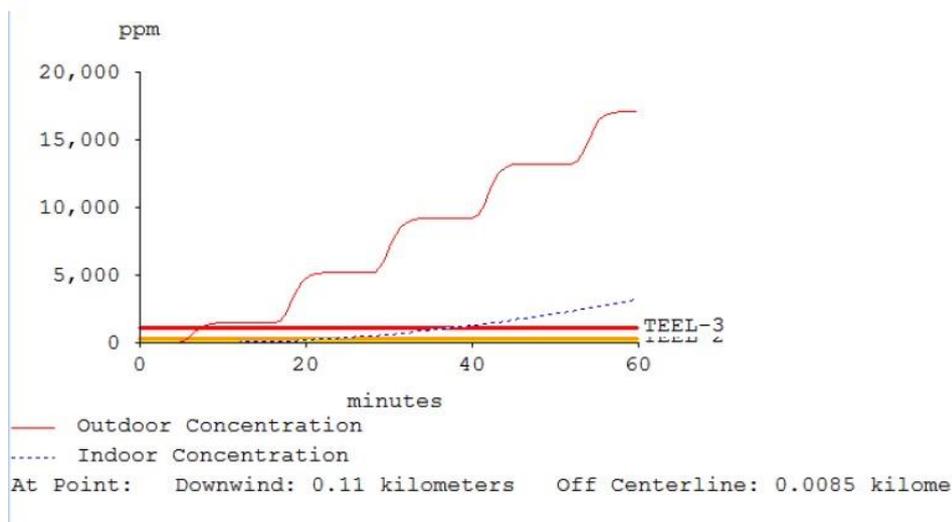


Figura 3.10. Afectaciones en local interior correspondiente a la oficina del Jefe de Turno ante una Nube Tóxica de nafta.

Fuente: salida del ALOHA.

Como se observa en la figura 3.10, los valores de *TEEL- 1* se alcanzan al instante de iniciar el escape, los comprendidos dentro del *TEEL- 2* se alcanzan sobre los 20 minutos aproximados y los de *TEEL- 3* al cabo de 38 minutos. Esto indica que incluso dentro de las oficinas se alcanzan concentraciones incompatibles para la vida. Sin embargo, a diferencia del caso de la SES, sí puede ser detectado rápidamente el derrame mediante los niveles de los tanques, los cuales cuentan con un sistema automatizado de instrumentación. Esto ofrece cierto margen de reacción ante la ocurrencia de un derrame.

3.3.3 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas obtenidas para el escenario VCE.

Entre los escenarios resultantes del Árbol de Sucesos tanto para el gas natural como para la nafta tiene lugar la VCE. Los resultados en las diferentes direcciones del viento que se evalúan se muestran en los anexos 5b y 6b respectivamente. Los resultados obtenidos se encuentran en las tablas 3.12 y 3.13 para el gas natural y para la nafta respectivamente.

Tabla 3.12. Áreas de atmósferas peligrosas del escenario VCE generadas por un escape de gas natural en estado de Calma para cualquier dirección del viento.

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles	Longitud (m)	Ancho (m)
Calma	≤ 1	LOC- 3	-	-
		LOC-2	90	50
		LOC-1	120	162

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse en la tabla 3.12, afortunadamente no se alcanzan áreas peligrosas correspondientes a sobrepresiones contenidas dentro del LOC- 3, el área concerniente a la zona naranja o valores de LOC- 2, abarca 90 metros de largo por 50 metros de ancho y aquel personal que se encuentre contenido en la misma, será propenso a sufrir serios daños. Como se observa en la fig. 3.13 esta área no compromete zonas de acumulación de operadores por lo general, aunque se debe tener en cuenta la posibilidad de presencia de operadores debido a operaciones que se estén realizando casualmente en el área de la SES y de las Bombas Magistrales. Para valores de sobrepresión superiores a los 3,5 psi tiene lugar la manifestación de serios daños, siendo el valor más alto de sobrepresión que se alcanza de 6,33 psi, lo que evidencia que de suceder este escenario sus consecuencias se verifican en toda su extensión. Los valores de LOC- 1 o zona amarilla abarcan áreas un poco mayores, estas con valores de 120 metros de largo por 162 de ancho y tampoco involucra zonas donde exista generalmente acumulación de personal ni oficinas, ALOHA establece que, para valores de sobrepresión iguales a 1 psi, valor contenido dentro de este LOC se verifica la destrucción de cristales. El valor de sobrepresión más bajo que se verifica, resultante de la evaluación de este escenario corresponde a los 1,17 psi; por lo tanto, de existir alguna oficina en dicha área tendrá lugar la destrucción de cristales.

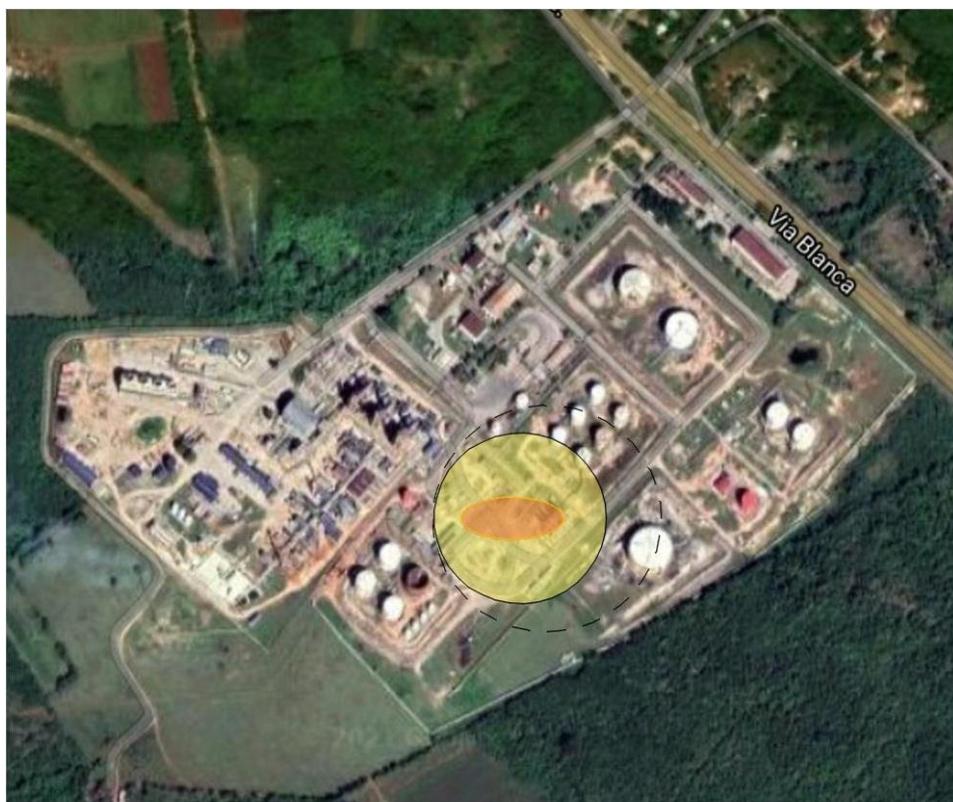


Figura 3.11. Áreas de atmósferas peligrosas de la VCE en condiciones de Calma en la SES.

Fuente: elaboración propia.

A continuación de similar manera se analiza el escenario *VCE* en el área correspondiente al almacén de nafta. En la tabla 3.13 se muestran las áreas de peligro resultantes en su evaluación.

Tabla 3.13. Áreas de atmósferas peligrosas del escenario *VCE* generadas por un derrame de nafta en estado de Calma para cualquier dirección del viento.

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles	Longitud (m)	Ancho (m)
Calma	≤ 1	LOC- 3	-	-
		LOC-2	128	54
		LOC-1	165	175

Fuente: elaboración propia.

Igual que en el caso del gas natural, para el escenario *VCE*, los valores de *LOC- 3* no ofrecen áreas de peligro, algo muy significativo en caso de existencia de este escenario puesto que, se evaden sus consecuencias.

Las áreas correspondientes a los niveles de *LOC- 2* y *LOC- 1* muestran dimensiones de 128 por 54 y de 165 por 175 metros respectivamente como se refleja en la tabla anterior; esta vez un poco mayores que las áreas mostradas para el gas natural. Como se aprecia en la fig. 3.12 el área comprendida en la zona naranja involucra desde la fuente hasta poco más del perímetro de la oficina del Jefe de Turno, la cual se encuentra ubicada a 110 metros de la fuente. En esa área el máximo valor de sobrepresión que se alcanza son los 6,33 psi y según *ALOHA*, (2020) es un valor suficiente para causar serios daños. También involucra parcialmente al área de las Bombas Magistrales. El espacio ocupado por valores de *LOC- 1* supera el perímetro de la PPC en las direcciones comprendidas entre el N y el W y ocupa parte de la Planta *ENERGAS*, por lo que esta se afecta con los daños inherentes los cuales implican la destrucción de cristales de haber oficinas en esa zona, y a su vez engloba también la oficina del Jefe de Turno y las Bombas Magistrales ahora en su totalidad.

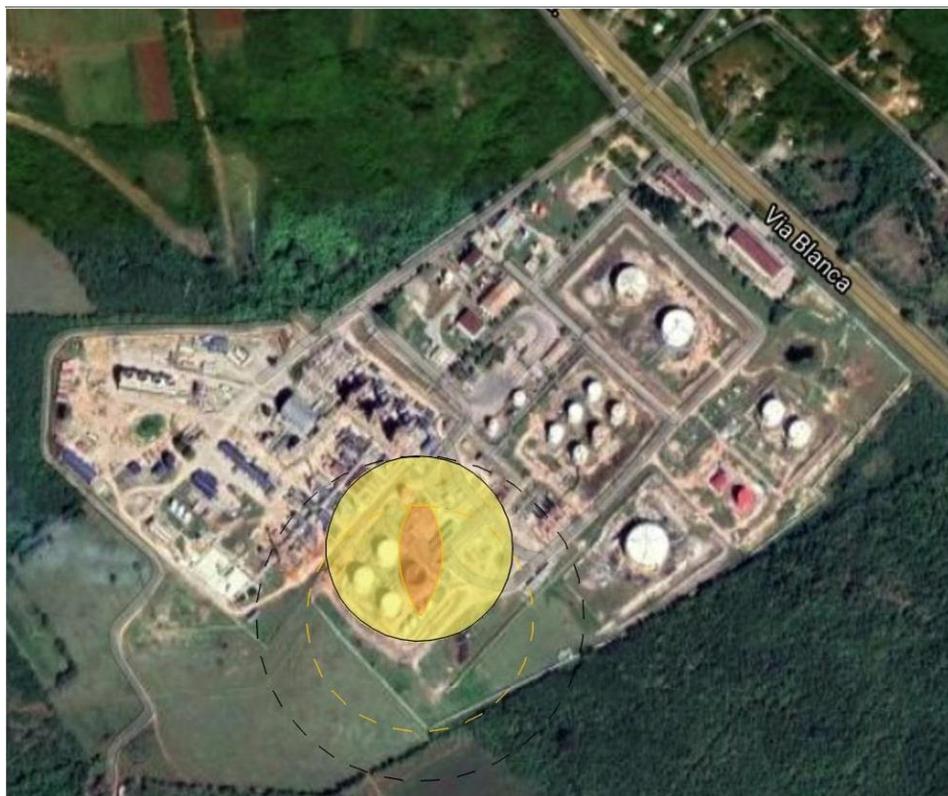


Figura 3.12. Áreas de atmósferas peligrosas de la VCE en condiciones de Calma en el almacén de nafta.

Fuente: elaboración propia.

3.3.4 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por un *Jet Fire* en la SES.

Otro de los escenarios a analizar es el *Jet Fire* que resulta de un escape en la SES. Los resultados que se evalúan se muestran en el anexo 5c y los que se analizan se muestran en la Tabla 3.12 para la dirección del viento ENE y estabilidad “F”, que corresponde con una de las más altas velocidades del viento y para la Calma puesto que, un análisis de los resultados obtenidos para dicho escenario indica que un aumento de la velocidad del viento deviene en un moderado incremento de las áreas de peligro como se muestra en la tabla 3.14.

Tabla 3.14. Áreas de atmósferas peligrosas del escenario *Jet Fire* en estado de Calma para cualquier dirección del viento y en la dirección del viento ENE.

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles de radiación (kW/m ²)	Longitud (m)	Ancho
Calma	≤ 1	LOC-3	10	20
		LOC-2	17	33

		LOC-1	32	62
ENE	4,69	LOC-3	14	22
		LOC-2	23	38
		LOC-1	35	64

Fuente: elaboración propia.

Como puede observarse, existe un ligero incremento de las áreas de atmósferas peligrosas a mayores velocidades del viento, del orden de los 3 a 6 metros que, aunque parezca insignificante puede marcar la diferencia entre la vida o la muerte.

El área de radiación generada por el *Jet Fire* para la dirección ENE se muestra en la figura 3.13.

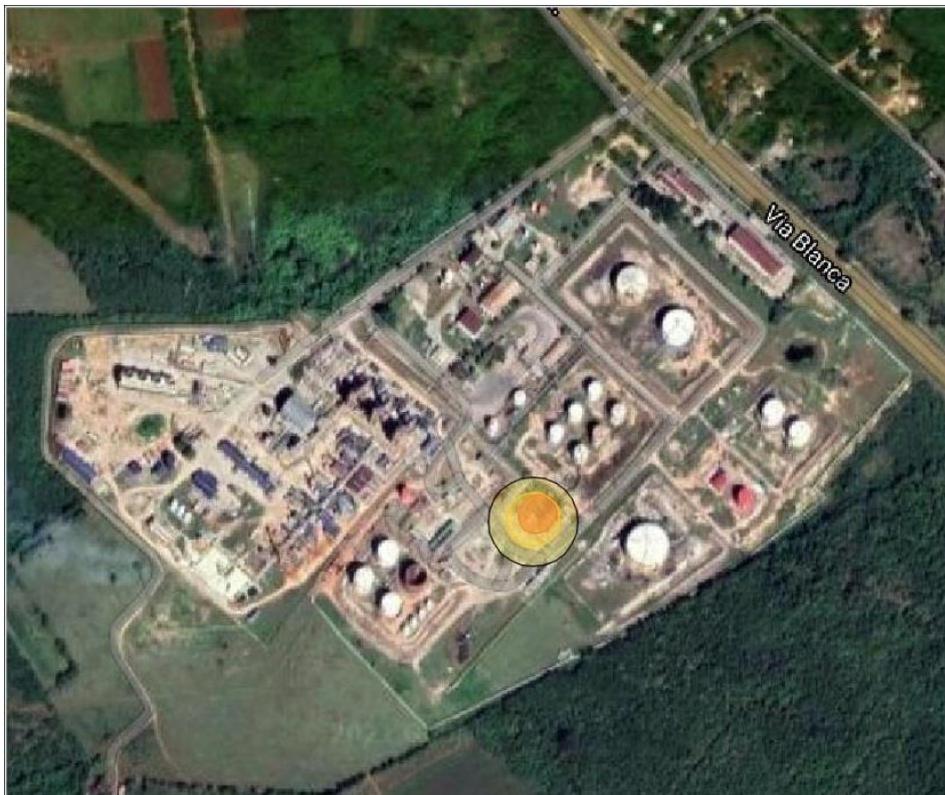


Figura 3.13. Áreas de atmósferas peligrosas del *Jet Fire* en condiciones de Calma en la SES.

Fuente: elaboración propia.

El área roja correspondiente a radiaciones mayores de 10 kW/m² afecta varias balsas separadoras, por lo que no se descarta la posibilidad de ocurrencia de la *BLEVE* y, por consiguiente, un efecto dominó.

3.3.5 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por un *Pool Fire* en el almacén de nafta.

Otro de los escenarios que se analizan, esta vez en el almacén de nafta es el *Pool Fire*, el cual se origina cuando un derrame de nafta tras haberse acumulado en un área es incendiado. Sus resultados se muestran en el anexo 6d. En el caso de estudio; el almacén de nafta compuesto por cuatro tanques se encuentra rodeado de un muro de contención el cual, si bien favorece que la nafta no se esparza hacia otras áreas, facilita la acumulación de líquido en forma de piscina. Otro dato importante es que los tanques de nafta como se explica en el capítulo anterior no poseen sistema autónomo contraincendios, lo cual incrementa la probabilidad de que, un incendio de charco caliente el tanque hasta provocar la *BLEVE*, al no existir respuesta rápida de enfriamiento.

Las áreas de peligro generadas por el *Pool Fire* se muestran en la tabla 3.15, evaluadas en la dirección E del viento y estabilidad "D" por ser las condiciones bajo las cuales se generan las mayores áreas de peligro.

Tabla 3.15. Áreas de atmósferas peligrosas del escenario *Pool Fire* en la dirección E del viento y estabilidad "D".

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles	Longitud (m)	Ancho (m)
E	4,28	LOC-3	20	28
		LOC-2	26	40
		LOC-1	37	64

Fuente: elaboración propia.

En la PPC los hidrantes y gabinetes para colocar las mangueras del Sistema Contra Incendios (SCI), se encuentran ubicados aproximadamente a 10 metros de los tanques, siendo estos la única fuente de agua para enfriamiento y lucha contra incendios. Como puede apreciarse el área con radiaciones mayores a 10kW/m^2 que representa además alto peligro para la vida, alcanza 20 metros de largo por 28 de ancho, por lo tanto, los hidrantes antes mencionados se encuentran dentro de esta área. Resulta evidente entonces que los operadores de la PPC, los cuales no cuentan con equipos de protección CI, no pueden realizar acciones de mitigación de fuego dado que no pueden acceder a estos hidrantes. Hasta los 26 metros de longitud por 40 metros de ancho no se puede acercarse al área el personal, ya que se sufren probables quemaduras de segundo grado de no poseerse el equipamiento necesario. Conocido lo anteriormente expuesto se espera que, de ocurrir un charco de fuego el riesgo de la formación de la *BLEVE* es prácticamente inevitable.

3.3.6 Análisis de las áreas de atmósferas peligrosas generadas por la BLEVE en el almacén de nafta.

Dado lo expuesto en el acápite anterior y por ser éste uno de los escenarios probables obtenidos en el Árbol de Sucesos, se evalúa la BLEVE obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 3.16.

Tabla 3.16. Áreas de atmósferas peligrosas del escenario BLEVE.

Estado	Velocidad del viento (m/s)	Niveles	Diámetro (m)
Calma	≤ 1	LOC-3	1208
		LOC-2	1704
		LOC-1	2600

Fuente: elaboración propia.

Claramente este escenario, de todos los evaluados es el que genera mayores áreas peligro y del cual se esperan las mayores afectaciones humanas, ambientales y económicas; siendo el área de peligro para la vida de más de 1 kilómetro de extensión.

En la figura 3.14 se aprecian fácilmente las áreas afectadas ante un escenario de este tipo.

Obviamente toda la PPC, así como la Planta ENERGAS, sufren las mayores afectaciones por estar contenidas completamente en la zona correspondiente a los mayores valores de radiación, siendo estos de hasta 78,6 kW/m² a 150 metros de la fuente, radiación más que suficiente para provocar la muerte.

La zona donde existen quemaduras de segundo grado afecta un asentamiento poblacional que se encuentra ubicado frente a la PPC, la zona donde tienen lugar quemaduras de primer grado afecta la UEB EMPERCAP, ENSERPET y viviendas aledañas que se encuentran en toda esta área. Afortunadamente la radiación no alcanza los poblados de Guásimas y Santa Marta que poseen mayor densidad poblacional.

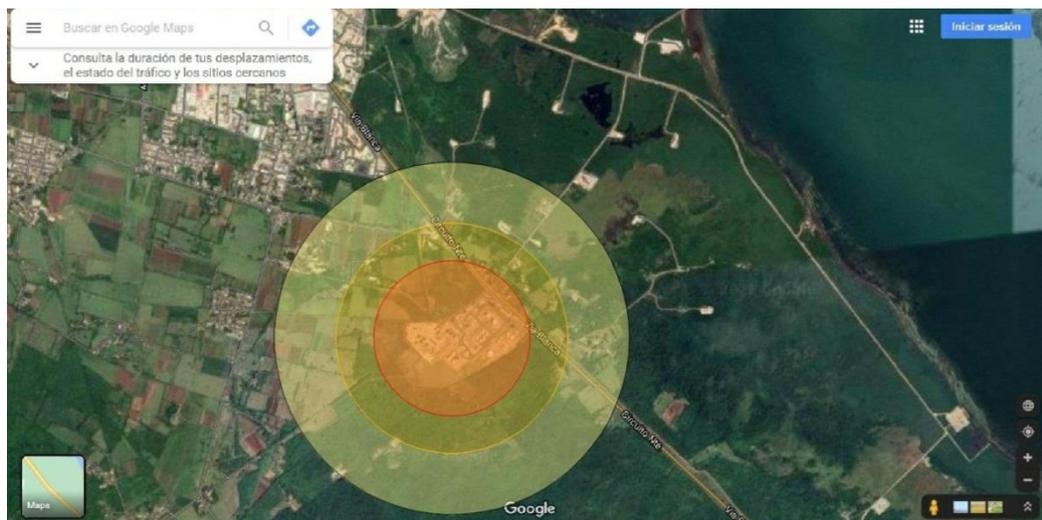


Figura 3.14. Áreas de atmósferas peligrosas de la *BLEVE* en condiciones de Calma.

Fuente: elaboración propia.

3.4 Análisis de resultados alcanzados por “Probit”.

Este método ofrece la posibilidad de evaluar los daños para la salud a aquellas personas que se encuentren inmersas en las áreas donde tienen lugar los escenarios de riesgos y en sus cercanías adyacentes, a partir de los efectos de la radiación, la sobrepresión y la inhalación de sustancias tóxicas. A continuación, se analizan solamente los efectos causados por radiación y sobrepresión.

3.4.1 Análisis de vulnerabilidad por efectos de radiación térmica.

Los efectos de la radiación térmica se evalúan para los escenarios *Jet Fire* en la SES y *Pool Fire* y *BLEVE* en el almacén de nafta.

Para actuar en consecuencia con los resultados analizados de *ALOHA* se consideran a continuación, las mismas direcciones del viento, exceptuando el escenario *BLEVE* dado que como se explica con anterioridad este escenario no depende de la dirección del viento. Las restantes direcciones del viento evaluadas para estos mismos escenarios se muestran en los anexos 7 y 8.

3.4.1.1 Análisis de vulnerabilidad por efecto de la radiación térmica generada por el *Jet Fire*.

En este punto se puede ver con mayor veracidad las afectaciones que se pueden generadas a las personas por muerte por quemaduras.

Tabla 3.17. Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario *Jet Fire* en la dirección del viento ENE.

Afectación	Dirección del Viento	ENE							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	40
	Radiación (kW/m ²)	18,9	14,1	9,48	5,96	3,95	3,03	2,08	1,49
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	6,86	5,86	4,51	2,92	1,52	0,61	-0,67	-1,81
	Porcentaje de Afectaciones	95,58	80,02	31,01	2,24	0,00	0,00	0,00	0,00
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	8,85	7,68	6,08	4,21	2,55	1,49	-0,03	-1,37
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	85,43	21,29	0,00	0,00	0,00	0,00
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	12,16	10,98	9,38	7,52	5,86	4,79	3,28	1,94
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	79,97	41,62	4,32	0,00

Fuente: elaboración propia.

Los valores de radiación térmica que aparecen en la tabla anterior son tomados de la propia evaluación del escenario mediante *ALOHA*, a intervalos de 5 metros desde la fuente de emisión. La tabla también muestra, como pueden apreciarse, los tres niveles de afectación y su porcentaje equivalente que permite calcular el método.

Los niveles correspondientes a la muerte por quemaduras y a las quemaduras de segundo grado ofrecen peligro a aquellos individuos que se encuentren contenidos en los 20 primeros metros del origen del escenario, mientras para la afectación referida a las quemaduras de primer grado, son significativas las distancias comprendidas hasta los 35 metros de la fuente. Hasta los 10 metros todos los individuos serán propensos a sufrir quemaduras de primero y/o segundo grados, mientras que hasta los 20 metros todos sufrirán quemaduras de segundo grado.

Dadas las dimensiones de las áreas de peligro y la ubicación del área analizada, en este escenario resulta poco probable que exista acumulación de personal en las zonas de mayor peligro, correspondientes a los 10 metros de la fuente.

En la tabla 3.18 se observa el porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario *Jet Fire* en estado de Calma.

Tabla 3.18. Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario *Jet Fire* en estado de Calma.

Afectación	Dirección del Viento	CALMA							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	
	Radiación (kW/m ²)	9,41	7,85	5,99	4,17	3,11	2,3	1,69	
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	4,48	3,86	2,94	1,70	0,70	-0,33	-1,38	
	Porcentaje de Afectaciones	30,12	12,47	2,33	0,00	0,00	0,00	0,00	
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	6,05	5,32	4,23	2,77	1,59	0,38	-0,86	
	Porcentaje de Afectaciones	84,75	61,93	21,89	1,39	0,00	0,00	0,00	
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	9,35	8,62	7,54	6,08	4,90	3,68	2,44	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	85,46	45,68	9,10	0,00	

Fuente: elaboración propia.

Al analizar los resultados que alcanza la evaluación para el estado de Calma se aprecia que este involucra áreas de peligro hasta 30 metros, ligeramente inferiores al caso anterior. También se observa la disminución de los porcentajes de afectaciones para las mismas distancias.

Los resultados de este escenario para las restantes direcciones y velocidades del viento se muestran en el anexo 7b.

3.4.1.2 Análisis de vulnerabilidad por efecto de la radiación térmica generada por el Pool Fire.

Los resultados de la evaluación para el escenario *Pool Fire* se muestran en el anexo 8b.

En la tabla 3.19 se muestran los porcentajes de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario *Pool Fire* en la dirección del viento E.

Tabla 3.19. Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario *Pool Fire* en la dirección del viento E.

Afectación	Dirección del Viento	E							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	40
	Radiación (kW/m ²)	59	24,6	13,8	7,55	4,7	3,12	2,2	1,66
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	10,75	7,76	5,79	3,73	2,11	0,71	-0,48	-1,44
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	77,92	9,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	13,44	9,92	7,59	5,16	3,25	1,60	0,20	-0,94
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	55,95	4,13	0,00	0,00	0,00
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	16,74	13,22	10,90	8,47	6,56	4,91	3,50	2,37
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	93,27	46,19	6,54	0,00

Fuente: elaboración propia.

Al analizar el presente escenario, se nota que las áreas con afectaciones por quemaduras y/o peligro para la vida son mayores que en el caso del *Jet Fire* por ser significativamente mayores los niveles de radiación alcanzados. En este caso el área con mayor porcentaje de afectación para la vida alcanza los 15 metros mientras que, para las quemaduras de segundo y primer grado se alcanzan porcentajes alarmantes de afectación hasta los 20 y 30 metros respectivamente. Es importante señalar que 30 metros después del origen desaparece la posibilidad de que existan quemaduras letales y de segundo grado, siendo el área fuera de peligro a partir de los 40 metros de la fuente. La figura 3.15 muestra el perfil de afectaciones para este escenario, donde se aprecia claramente el aumento de las áreas de afectaciones para cada nivel.

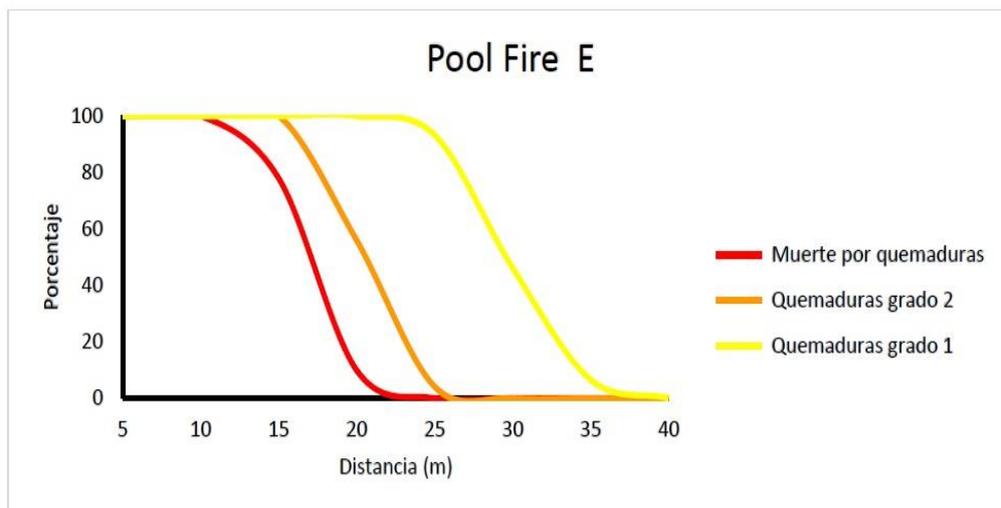


Figura 3.15. Perfil de afectaciones por efecto de la radiación para el *Pool Fire*.

Fuente: elaboración propia.

Es importante señalar que las áreas donde se encuentran los operadores con mayor frecuencia (Bombas Magistrales), están fuera del rango de peligro, aunque no se descarta la posibilidad de que los trabajadores estén realizando operaciones en el almacén de nafta. El hecho de que las áreas de peligro se encuentren limitadas por los 35 metros provoca que se dificulte la puesta en marcha de medidas de extinción de fuego desde sus cercanías, como se explicó anteriormente al analizar las áreas generadas por dicho escenario en *ALOHA*.

3.4.1.3 Análisis de vulnerabilidad por efecto de la radiación térmica generada por la BLEVE.

Al analizar el escenario *BLEVE*, como se observa en la tabla 3.20, sus áreas de peligro aumentan considerablemente en comparación con los escenarios evaluados anteriormente, alcanzando estas los 1200 metros en la dirección radial.

Tabla 3.20. Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario *BLEVE* en estado de Calma.

Afectación	Dirección del Viento	Calma						
	Distancias (m)	200	400	600	800	1000	1200	1400
	Radiación (kW/m ²)	58,1	21,2	9,96	5,77	3,6	2,52	1,65
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	10,70	7,25	4,68	2,81	1,20	-0,02	-1,46
	Porcentaje de Afectaciones	100	97,56	37,15	1,64	0,00	0,00	0,00
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	13,37	9,32	6,28	4,08	2,18	0,74	-0,96
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	89,37	17,62	0,00	0,00	0,00
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	16,68	12,62	9,58	7,39	5,49	4,05	2,35
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	98,59	68,09	16,90	0,00

Fuente: elaboración propia.

En este escenario el nivel correspondiente a las muertes por quemaduras muestra valores de importancia en los primeros 600 metros radiales, mientras los niveles de afectaciones por quemaduras de segundo y primer grado se encuentran dentro de los 800 y 1200 metros respectivamente. Expuestos estos valores de distancias afectadas se aprecia lo abarcador de este escenario y por tanto la violencia de sus consecuencias, dato que no resulta novedoso pues en el acápite donde se analizan los resultados de *ALOHA* se explica con exhaustividad lo agresivo de dicho escenario.

De la fuente de origen hasta el Taller Eléctrico y las oficinas de la UEB separan las distancias de 600 y 620 metros respectivamente; siendo estas, de las áreas evaluadas, las que se encuentran a mayor distancia. Esto indica que, absolutamente todas las personas involucradas en las áreas que se analizan además de todos los trabajadores de la Planta *ENERGAS*, quedan expuestos en una u otra medida a padecer quemaduras letales.

El área más crítica para las quemaduras letales está comprendida en los primeros 400 metros donde aproximadamente el 100 % de las personas morirán bajo esta consecuencia, mientras para el caso de las quemaduras de segundo grado la criticidad alcanza los 600 metros. En el caso de las quemaduras de primer grado se extienden hasta valores aproximados de 1 kilómetro.

La figura 3.16 muestra el perfil de afectaciones para este escenario:

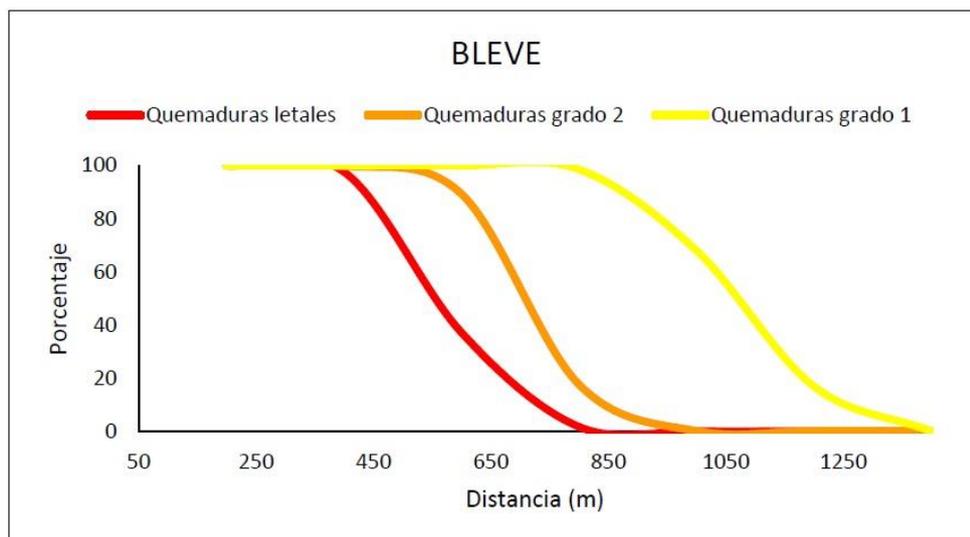


Figura 3.16. Perfil de afectaciones por efecto de la radiación para la *BLEVE*.

Fuente: elaboración propia.

Aquí se observa claramente lo expuesto con anterioridad respecto a las áreas de afectaciones.

Un recuento de las áreas donde existen oficinas, que es donde se acumula mayor cantidad de personal, arroja los resultados que se muestran en la tabla 3.21.

Tabla 3.21. Cantidad de personal afectado por áreas de oficinas por los diferentes niveles de radiación.

Área	Cantidad de Personal	Personal Afectado					
		Quemaduras Letales		Quemaduras 2do grado		Quemaduras 1er grado	
		Porcentaje	Afectados	Porcentaje	Afectados	Porcentaje	Afectados
Bombas Magistrales	2	100	2	100	2	100	2
Oficina del Jefe de Turno	6	100	6	100	6	100	6
Calderas	3	100	3	100	3	100	3
Taller mecánico de atención a la PPC	8	98	8	100	8	100	8
Grupo Electrónico	2	100	2	100	2	100	2
Oficinas de la UEB	30	32	10	86	26	100	30
Taller eléctrico	6	32	2	86	6	100	6
Casa de Bombas	1	100	1	100	1	100	1
Total	60		34		54		60

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 3.21, se observa como su nombre lo indica, la cantidad de personas que son afectadas en aquellas áreas donde generalmente existe acumulación de personal. Como se aprecia, la totalidad de trabajadores está integrada por 60 y, aproximadamente 34 de estos morirán a consecuencia de las quemaduras mientras que, 54 son afectados por quemaduras de segundo grado y prácticamente el total de ellos por quemaduras de primer grado.

Cabe señalar que la sumatoria de afectados en estos tres niveles excede las 60 personas, debiéndose esto a que los individuos no precisamente sufrirán un solo nivel de afectación, sino dos e incluso los tres niveles establecidos. Se puede augurar que, ante un escenario de tal envergadura, prácticamente todos los trabajadores de la PPC sufrirán quemaduras de primero y segundo grados.

3.4.2 Análisis de vulnerabilidad por efectos de explosión.

Para el análisis de vulnerabilidad por efectos de explosión se toma solamente el escenario VCE en las dos áreas de la PPC que se investigan en el presente trabajo. Sus resultados se muestran en los anexos 7a y 8a respectivamente. A continuación, se muestra en la tabla 3.22 el porcentaje de afectaciones por sobrepresión en caso de ocurrencia de este suceso en la SES.

Tabla 3.22. Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario VCE en estado de Calma en la SES.

Afectación	Dirección del Viento	CALMA							
	Distancias (m)	20	40	60	70	80	90	100	110
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	5,75	2,58	1,62	1,17
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	4,83	3,29	2,39	1,76
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	43,20	4,39	0,00	0,00
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,40	5,40	5,40	5,40	4,93	1,07	-1,17	-2,74
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	47,04	0,00	0,00	0,00
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,44	8,44	8,44	8,44	8,02	4,45	2,38	0,93
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	28,98	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Como se observa, el mayor porcentaje de afectaciones corresponde a las lesiones por impacto del cuerpo con valores porcentuales iguales a 100 hasta los 80 metros de la fuente, disminuyendo después de esta distancia notablemente, de manera que después de los 100 metros desaparece la posibilidad de afectaciones. La rotura del tímpano y muerte por impacto del cuerpo arrojan que aproximadamente la mitad del personal sufrirá de estas afectaciones hasta los 80 metros, período después del cual prácticamente desaparece esta amenaza.

De ocurrir este escenario de riesgo en el almacén de nafta los niveles de afectaciones son similares, aunque el área afectada es mayor como se muestra en la tabla 3.23.

Tabla 3.23. Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario VCE en estado de Calma en el almacén de nafta.

Afectación	Dirección del Viento	CALMA						
	Distancias (m)	40	60	80	100	120	130	140
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	5,66	2,33	1,58
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	4,80	3,09	2,34
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	42,02	3,11	0,00
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,40	5,40	5,40	5,40	4,86	0,58	-1,29
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	44,07	0,00	0,00
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,44	8,44	8,44	8,44	7,95	4,00	2,27
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	15,49	0,00

Fuente: Elaboración propia.

En este caso las lesiones por impacto del cuerpo alcanzan valores significativos en los primeros 120 metros, área en la cual será afectada la totalidad de las personas. En el caso de la rotura del tímpano y de la muerte por impacto del cuerpo afectarán a la mitad del personal hasta los 120 metros también, ya a los 130 metros las afectaciones deben ser mínimas y después de los 140 metros se considera área libre de peligro como se observa en la figura 3.17.

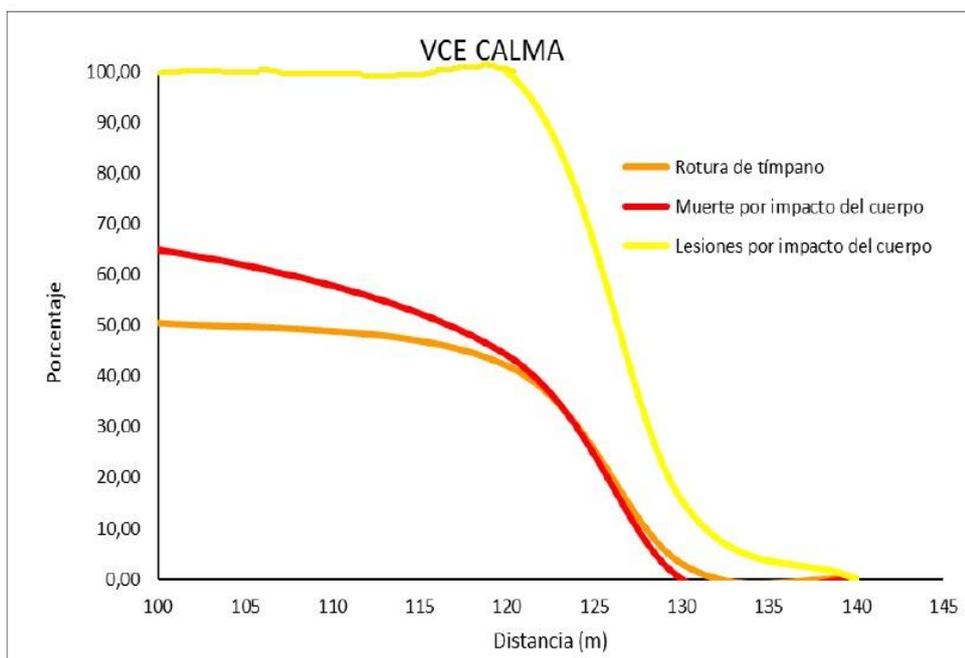


Figura 3.17. Perfil de afectaciones por efecto de la sobrepresión para la VCE.

Fuente: elaboración propia.

A partir de los 120 metros en lo adelante como se muestra en la tabla 3.23 y en la figura 3.17 los porcentajes correspondientes a los niveles de rotura del tímpano y muerte por impacto del cuerpo adoptan comportamientos muy similares.

3.5 Análisis Económico

Para realizar la valoración económica se evalúa la magnitud de las afectaciones que devienen de la ocurrencia del escenario *VCE* en las dos áreas que se estudian. El impacto económico de la ocurrencia de este escenario viene dado por las pérdidas por concepto de costos de los equipos implicados, (el costo por el cual fue adquirido el equipo menos lo que ha amortizado el equipo hasta ese momento), las pérdidas económicas de producción y el costo por reposición de estos equipos. En el presente trabajo solo se evalúan los costos por reposición de equipos y afectaciones en el área bajo estudio, los cuales pueden circular alrededor de \$ 167 542 783 MN, dado por el valor actual de los equipos en el mercado internacional y los materiales a utilizar.

3.6 Revisión y actualización del Plan de Reducción de Desastre (PRD)

Una vez concluido la investigación se procede a revisar el PRD actual de la PPC evidenciándose que al mismo le faltan aspectos importantísimos que no abarca en dicho plan y serán suplidos con la información obtenida en la investigación. El grupo de expertos se reúne y se decide proceder a la actualización del PRD de la PPC teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el trabajo, posteriormente presentar al consejo de dirección para su aprobación y una vez aprobado presentar y discutir con los trabajadores de la PPC, la población aledaña a la instalación, las instalaciones que podrían ser afectadas en caso de una emergencia y los órganos de emergencia que participarían en el evento PNR, SIUM, Bomberos de Santa Marta, Cárdenas y Matanzas, OBE y la Defensa Civil.

Conclusiones parciales

Se llega a la conclusión que las mayores áreas de peligro ocurren generalmente en estado de Calma, siendo mayor la probabilidad de ocurrencia de un suceso iniciador en la SES que en el almacén de nafta. Se muestra como el escenario de riesgo más probable tanto para la SES como para el almacén de nafta es la nube tóxica. De todos los escenarios analizados por Probit se evidencia que las mayores afectaciones son las que desencadena la BLEVE en el almacén de nafta.

CONCLUSIONES

1. Queda elaborado el marco teórico que permitió la interpretación de los resultados de la investigación, así como las relaciones que existen entre estos, el cual se muestra en el hilo conductor.
2. Mediante la combinación de las técnicas Análisis Histórico de Accidentes, Árbol de Sucesos, ALOHA y Probit; fue posible evaluar los escenarios de riesgos que pueden tener lugar en la SES y en el almacén de nafta cumpliendo con el objetivo de la investigación.
3. Quedó elaborado un procedimiento para la evaluación de los riesgos tecnológicos en la Planta de Procesamiento de Crudo.
4. Se aplica el procedimiento elaborado para la evaluación de los riesgos tecnológicos en la Planta de Procesamiento de Crudo obteniendo los siguientes resultados:
 - Los escenarios de riesgos que pueden manifestarse en el área de la SES son: la Nube Tóxica, la VCE, el Jet Fire y el Jet Fire/BLEVE con valores de frecuencia que oscilan desde 1,1082 hasta 0,0115 a-1.
 - Los escenarios de riesgos que pueden manifestarse en el área del almacén de nafta son: la Nube Tóxica, el Pool Fire, el Pool Fire/BLEVE, la BLEVE y la VCE con valores comprendidos entre 0,1620 y 0,0039 a-1.
 - Las mayores áreas de peligro son las generadas por la BLEVE en el almacén de nafta
 - El Software ALOHA, además de mostrar las áreas de atmósferas peligrosas, complementado con las ecuaciones Probit, permite determinar con exactitud las afectaciones por efecto de radiación térmica y sobrepresión.

RECOMENDACIONES

1. Aprobar por el consejo de dirección e incluir en los Documentos Normalizativos de la empresa el procedimiento elaborado para la evaluación de los riesgos tecnológicos en la Planta de Procesamiento de Crudo.
2. Realizar simulacros de emergencia mensualmente teniendo en cuenta las acciones del PRD actualizado y los resultados obtenidos por el Software ALOHA.
3. Rediseñar el flujo tecnológico en la PPC de manera tal que bajen los inventarios del almacén de nafta.
4. Adquirir equipos de protección respiratoria personal para casos de escape de gases.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Camejo Argüelles, Yulay, «Aplicación de la Resolución 31/02 en los pozoa periféricos cercanos al mar en la Empresa de Perforación y Extracción de Petróleo del Centro.», Universidad de Matanzas " Camilo Cienfuegos ", Industrial, 2015.
2. Pérez García, Sandra Lucia, «Lo que usted de sabe sobre riesgo tecnológico» 2018, pag. 46,
3. Consuegra, J. M. , «“Guide for the management of technological risks for companies adherent to the APELL process of D.E.I.P Barranquilla”» 2017, pag.106,
4. Concepción Maure, Lissette «Índice de riesgo tecnológico para la evaluación holística del riesgo en escenarios propensos a accidentes mayores» 2018, pag.45,
5. Rizo Valdés, Juana Inés, «Organización de Gestión de Riesgos» 2020, pág. 5-6,
6. Gestión de riesgo. 2021, [fecha de consulta: 29 de Abril]. Disponible en: https://www.eird.org/cd/toolkit08/material/proteccion-infraestructura/gestion_de_riesgo_de_amenaza/8_gestion_de_riesgo.pdf
7. Gestión de Riesgos. 2016, 28 de Diciembre del 2017, [fecha de consulta: 27 de Abril]. Disponible en: <https://gerens.pe/blog/gestion-riesgo-que-por-que-como/>
8. Gestión de Riesgos. 2020, [fecha de consulta: 25 de Abril]. Disponible en: <https://concepto.de/gestion-de-riesgos>
9. De la Torre, T, «Aplicación de la metodología expuesta en la Resolución 31/02 modificada por Menéndez en el 2005 para la Identificación, evaluación y Prevención de Riesgos laborales en el taller de Maquinado de la Empresa de Soluciones Mecánicas de Matanzas», Matanzas, Universidad "Camilo Cienfuegos", Departamento de Ingeniería Industrial, 2007.
10. Cabo, J. *Prevención de riesgos laborales en el sector sanitario*, 2013.www.gestion-sanitaria.com/3-riesgos-laborales-conceptos-basicos.html
11. Castelmonte, Centro. *Seguridad y Salud Ocupacional*, 2015.www.centrocastelmonte.com/seguridad-y-salud-ocupacional.html
12. Viña B, S, *Ergonomía*, Ciudad de la Habana, Ed. Pueblo y Educación, 1987, p.308.
13. Triana Y. y Masón T. *Identificación, evaluación y prevención de riesgos laborales*, 2008.<http://www.gestiopolis.comorganizaciontalento/riegos-laborales-identificacion-yevaluacion.htm>
14. Vllallva, J. . *Tipos de riesgos*, 2012.<http://www.monografias.com/trabajos35/tipos-riesgos/tipos-riesgos.shtml>.
15. Sevilla, R. A., *Manual de prevención y control de riesgos ocupacionales.*, . Sancti Spíritus, Cuba, Ed. Luminaria, 2002, pp. 15,13,25,16,26,30,39.
16. Morales, Y.C. *Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones*, La Habana, 2004.
17. ARLSURA. *Accidentes de trabajo*, 2015.www.arlsura.com/index.php/component/glossary/Glosario-de-T%C3%A9rminos-99/
18. Programa, Nacional de las Naciones Unidas, «Evaluación de riesgos químicos» 1999,
19. Casal, et al, *Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales*, Bogotá (Colombia), Alfaomega S.A, 2001.
20. UNGRD, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «Accidentes Tecnológicos» 2017,
21. Marin Morera, Felix A. *Gestión de incidentes, accidentes y averías*, 2017.
22. Rodríguez, D. G. *Manual de procedimientos de Seguridad Industrial. Protección a las instalaciones. Instrucción de seguridad para los riesgos eléctricos*, MIMBAS, La Habana, 2004.
23. Camejo Agüelles, Yulay. *Organización de la Protección Contra Incendios*, EPEP-C, 2019.
24. Joaquín, A, «Ambiente y enfermedad» 1999,

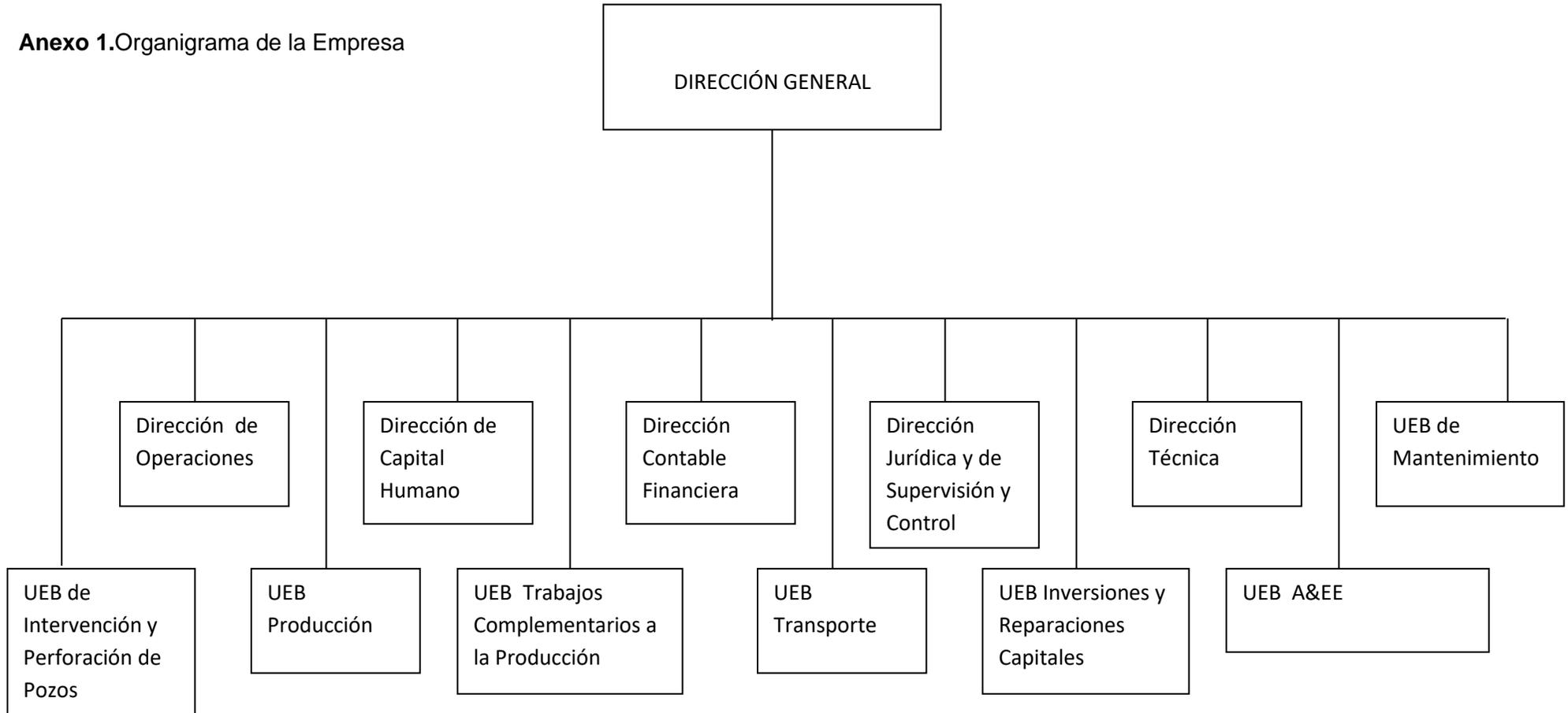
25. Instituto distrital de gestion de riesgos y cambio climatico, «Riesgo por Fenómenos de Origen Tecnológico» 2019,
26. UNGRD, Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres, «Resolución 1770 » 2013,
27. NC 1026-1. *Seguridad Contra Incendios* 2014.
28. García-Roca, C. Lopez-Beitía, C. Vílchez, J.A. Casal, J, «Informatic management of Hazardous substances: legislation, properties and data base» 1993,
29. Planas-Cuchi, E, «Contribución al estudio de la protección contra incendio en instalaciones de proceso», España, Universidad Politécnica de Cataluña, 1996.
30. Ferrero, «Incendios de hidrocarburos: Estudio de la formación y evolución del boiler de capa fina.» », España, Universidad politécnica de Cataluña, 2006.
31. Fernández, P.M «Modelos de cálculos de efectos y análisis de consecuencias. Gestión medioambiental y técnicas afines» 2008,
32. Casal, J et al, «*Análisis del riesgo en instalaciones industriales*», Edicions UPC, 1999.
33. López, D.C, «Análisis de riesgo tecnológico de la unidad de destilación de crudo U-200 asociado a los eventos amenazantes en la torre atmosférica T-201 de la gerencia del complejo Barrancabermeja-ECOPETROL S.A» 2006,
34. Michaelis, O 1995., Mavrothalassitis, G., Hodin, A 1999, «Boilover rapport interne» 1995,
35. Montiel, (1987); Fernández-Cámara, (1990) y Bestraten, (1999) 1987,
36. Bestratén M., Turmo E. , «Explosiones BLEVE (1): evaluación de la radiación térmica» *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del Trabajo. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España*, 1999,
37. EPA. U.S. Environmental Protection Agency. *Obtención de modelos de dispersión*, 2016. www.epa.gov/ttn/scram
38. Rodríguez D., Quintero A., González Y., Cuesta O., Sánchez A. *Variación de la estabilidad y altura de la capa de mezcla en la ciudad de Pinar del Río: su relación con condiciones sinópticas*, Revista Brasileira de Meteorología, 2014.
39. Viatela, I, «Análisis comparativo de diferentes modelos para los coeficientes de dispersión atmosférica y su efecto en el cálculo de dosis. Caso de aplicación: reactor experimental RA-6», San Carlos de Bariloche. Argentina., Universidad Nacional de Cuyo, 2007.
40. Gabarrel, X, «Evaluación y prevención de riesgos industriales en Centroamérica» 2008,
41. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. *Métodos cualitativos*. España 2016. p.
42. NSW, New South Wales. *HAZOP Guidelines. Hazardous Industry Planning Advisory*, 2011. www.planning.nsw.gov.au.
43. Sánchez, M. *Análisis de riesgos industriales en plantas químicas y petroleras. Método HAZOP*. La Mancha, 2016. p.
44. Rausand, M, «HAZOP. Hazard and operability study» *Department of Production and Quality Engineering Norwegian. University of Science and Tecnology*, 2015,
45. Juárez, M.A, «La metodología HAZOP aplicada al análisis de riesgos», [Ingeniero Petrolero], México, Universidad Nacional Autónoma, Facultad de Ingeniería, 2014.
46. Carol, Sergio, «Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los accidentes industriales», [Tesis de Doctorado], Barcelona. España, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de ingeniería química, 2001.
47. Nolan, Dennis P, «Handbook of Fire and Explosion Protection Engineering Principles for Oil, Gas, Chemical and Related Facilities. Second edition. Gulf Professional Publishing is an imprint of Elsevier. The Boulevard, Langford Lane, Kidlington, Oxford OX5 1GB, UK.» 2011,
48. NASA, «Fault Tree Analysis: Concepts and Applications» 2002,
49. Wells, Geoff, «Majors Hazards and their management» *Gulf Publishing Company. Houston, Texas*, 2003,
50. Díaz, A, «Análisis y evaluación de riesgos en la planta de gas de la Empresa Comercializadora de Combustibles de Matanzas», [Ingeniero Químico], Matanzas, Universidad Camilo Cienfuegos, 2013.

51. Santos, G.C, «Análisis del riesgo individual: Explosión de un ducto de gas natural», [Msc. en Ingeniería de Sistemas], Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Unidad Profesional Zacatenco "Adolfo López Mateos", 2010.
52. Castro D., Orozco J., Curiel L, «Evaluación de atmósferas peligrosas en la zona industrial de Matanzas ante posibles accidentes químicos» *Universidad de Matanzas. Cuba.*, 2013,
53. Spicer and Havens. *The DEGADIS Model. Environmental Software and Services*, 2002. www.ess.co.at/HITERM/MODELS/degadis.html
54. EPA. U.S. Environmental Protection Agency. *ALOHA Software*, 2016. www.epa.gov/cameoaloha-software
55. Domínguez, J.R, «Análisis cuantitativo de riesgos en el ámbito de la protección civil: aplicación a una instalación de almacenamiento de productos químicos», España, Universidad de Sevilla, 2014.
56. Medina, E. *Modelos de elección discreta*, 2003. www.eva.medinaam.es
57. Badia, Máximo. *Reglamento Tecnológico de la Planta de Procesamiento de Crudos*, EPEP-C, 2019.
58. OilfieldReview. *Yacimientos de petróleo pesado*, 2015. Oilproduction.net.
59. Ruano, R. *Ingeniería Energética General*, 2013. www.energianow.com
60. Bogomolov, A. I, *Química del petróleo y el gas*, Moscú, Editorial Mir, 1984.
61. Fuentes, E. "Descripción de las características y propiedades del gas natural". Maturín, Venezuela, 2010. p.
62. GREENSPEACE. *Gas Natural*, 2016. www.greenspeace.org
63. Carrillo G., Guerrero P, «Cálculo de propiedades del gas natural», Maracaibo, 2013.
64. ENFORM, *Curso de sulfuro de hidrógeno*, 7ma Edición, ENFORM Canadá, 2016.
65. Rodríguez, Roberto. *Instrucción de Seguridad para áreas contaminadas con Sulfuro de Hidrogeno.*, EPEP-C, 2019.
66. NFPA, «"Flammable and Combustible LiquidCode"» 2008,
67. Oil and Refining Co, U. S., «Material Safety. Data Sheet» 2009,
68. PETROBRAS, «Hoja de datos de seguridad» 2010,
69. Menéndez, F, «Aplicación de la metodología para la Identificación, evaluación y Prevención de Riesgos en la Empresa de Grupos Electrónicos y Servicios Eléctricos», 2005.
70. de la Torre Mazón, T., «Aplicación de la metodología expuesta en la Resolución 31/02 modificada por Menéndez en el 2005 para la Identificación, evaluación y Prevención de Riesgos laborales en el taller de Maquinado de la Empresa de Soluciones Mecánicas de Matanzas», Universidad de Matanzas, Departamento de ingeniería industrial, 2007.
71. Rodríguez Palenzuela, Laymis, «Aplicación de la metodología expuesta en la Resolución 31/02 modificada por González/2007 en equipos tecnológicos pertenecientes a la División de Intervención de la Empresa de Perforación y Reparación Capital a Pozos », Matanzas, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos" Facultad de Ingeniería Industrial-Economía 2010.
72. González Verde, A and González Oliva, L «Actualización del inventario de riesgos laborales por la Resolución 31/02 modificada por González 2007 en la Central Termoeléctrica "Antonio Guiteras".», [Tesis en opción al título de Ingeniera Industrial.], Matanzas, Universidad de Matanzas "Camilo Cienfuegos", Dpto. Ingeniería Industrial., 2013.
73. Asamblea Nacional del Poder Popular, «Ley 116/2014. Código del trabajo de la Republica de Cuba» *Gaceta Oficial de la Republica de Cuba, Ministerio de Justicia.*, 2014, No. 29 Extraordinaria de 17 de junio de 2014, pp. 472- 473, ISSN 1682-7511.
74. Oficina Nacional de Normalización. *NC ISO 45001 Norma Internacional. Sistema de gestión de la seguridad y salud en el trabajo.*, 2018.
75. Orozco, J, «Guía para la caracterización de las sustancias» *Dpto. Química e Ingeniería Química. Facultad de Ciencias Técnicas. Universidad de matanzas Camilo Cienfuegos.*, 2015,

76. Botta, N.A, «Medición de explosividad. Red Proteger» 2012,
77. Martínez, J.J, «Identificación, análisis y administración de riesgos. Soluciones Proactivas.» 2016,
78. NOAA, National Oceanic and Atmospheric Administration. U.S. Environmental Protection Agency, «ALOHA Examples Scenarios» 2016,

ANEXOS

Anexo 1. Organigrama de la Empresa



Anexo 3: Caracterización de las sustancias que se analizan.

Anexo 3a: Caracterización del Gas Natural del Petróleo.

Según la *NFPA*, (2015) y Santos, (2015) la caracterización para el gas natural del petróleo GNP se establece de la siguiente forma:

Nombre del producto: Gas Natural del Petróleo (GNP).

Nombre Químico: Metano.

Formula Química: Mezcla ($\text{CH}_4 + \text{C}_2\text{H}_6 + \text{C}_3\text{H}_8$).

Etiquetado de peligro: HR3, R31, R36, R42, R58, S16, S23, S33. Ver **anexo 3c**.

➤ **Datos físicos**

Apariencia: Incoloro, insípido y con ligero olor a huevo podrido debido a la presencia de mercaptanos.

Punto de ebullición: -160°C

Punto de fusión: -182°C

Solubilidad: ligeramente soluble de 0,1 a 10%

Densidad del líquido: $0,54 \text{ g/cm}^3$

Densidad de vapores: $0,61 \text{ g/cm}^3$ es más ligero que el aire

T L V -límite superior de inflamabilidad: 14,5%

IPVS - Límite inferior de explosividad: 4,5%

Temperatura de auto ignición: 650°C

Coefficiente de expansión: 1 litro de líquido se convierte en 600 litros de agua

Temperatura de inflamación: -222°C

Biodegradabilidad: no

Corrosión: altamente corrosivo

➤ **Formas de control y mitigación en casos de desastres.**

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastres:

- Fuga en espacios abiertos: Bloquear las válvulas que alimentan la fuga.
- Fuga en espacios cerrados: eliminar precavidamente fuentes de ignición y prevenir venteos para expulsar las probables fugas que pueden quedar atrapadas.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad: extintores de PQS.

➤ **Peligros para la salud**

Concentración permisible: 10ppm

Exposición permisible: 8hrs

Partes del cuerpo que afecta: El cerebro.

Forma de entrada al organismo: vías respiratorias.

➤ **Toxicidad**

Sustancia	Toxicidad							
	Toxicidad aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. para la reproducción
		P,O		x			x	

➤ **Datos de reactividad.**

Reacción principal y reacciones secundarias: Reacciona violentamente con pentafluoruro de bromo, trifluoruro de cloro, cloro, flúor, heptafluoruro de yodo, tetrafluoroborato de dioxigenil y oxígeno líquido.

Cinética de reacción: no se expone

Contaminantes producidos: monóxido de carbono.

Reacciones de descomposición: Su descomposición por combustión provoca dióxido de carbono y monóxido de carbono.

➤ **Condiciones de almacenamiento y manipulación.**

Capacidad del recipiente de almacenamiento: Separadores horizontales. 100 m3.

Forma del recipiente: Cilíndrico con cabezales semiesféricos. Horizontales.

Dimensiones del recipiente: L. 10m, A, 3,57m

Material de construcción: Acero al carbono

Localización de la soldadura: Por rolos de chispa.

Longitud de la soldadura: 3.5 cm.

Protección del recipiente (exterior): pintura impermeabilizante.

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

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

Fecha de fabricación del recipiente: 1985 en la URSS.

Condiciones de almacenamiento de la sustancia: Temperatura ≤ 900C. Presión hasta 2 atm.

Tipo de averías producidas: escapes, derrame de petróleo por sobrellenado. Averías en línea de recuperación de gas.

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

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

Uso en el proceso: Recibe el crudo precalentado de los intercambiadores de calor en espiral de la SES.

Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: escapes, derrame de petróleo por sobrellenado. Averías en línea de recuperación de gas.

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

Anexo 3b: Caracterización de la nafta ligera tipo B.

Según *ROTH*, (2015) la caracterización para la nafta ligera tipo B se establece de la siguiente forma:

Nombre del producto: Nafta. (fracción ligera tratada con hidrógeno)

Nombre Químico: Nafta hexano.

Formula Química: C₆H₁₄.

Etiquetado de peligro: R2, R3, R5, R7, R12, R18, R20, R21, R22, R37, R50, R60, R61, S21, S23, S43. Ver **anexo 3c**.

H225, líquido y vapores muy inflamables.

H315, provoca irritación cutánea.

H361, se sospecha que perjudica la fertilidad o daña al feto.

H336, puede provocar somnolencia o vértigo.

H373, puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas en caso de inhalación.

H304, puede ser mortal en caso de ingestión y penetración en las vías respiratorias.

H411, tóxico para los organismos acuáticos.

➤ **Datos físicos**

Apariencia: líquido incoloro y levemente dulce.

Punto de ebullición: intervalo de 65 a 69°C.

Punto de fusión: -95°C.

Solubilidad: hidrosoluble 0,01 g/l a 20°C.

Densidad del líquido: 0,67 g/cm³ a 20°C.

Densidad de vapores: 2,8 g/cm³.

T L V -límite superior de inflamabilidad: 7,4%

IPVS - Límite inferior de explosividad: 1,1%

Temperatura de auto ignición: 270°C.

Coeficiente de expansión: no se expone.

Temperatura de inflamación: -27°C

Biodegradabilidad: No

Corrosión: altamente corrosivo

➤ **Formas de control y mitigación en casos de desastres.**

Productos o técnicas empleados en el control y mitigación en caso de desastres:

Coordinar medios de extinción de incendios en alrededores, espuma, polvo extinguidor seco, dióxido de carbono.

Existencia del producto de control y mitigación en la entidad: carro portador de espuma.

➤ **Toxicidad**

Sustancia	Toxicidad							
	Toxicidad aguda	Irritación	Sensibilización	T. por dosis repetida	Mutagenicidad	Carcinogenicidad	Corrosión	T. para la reproducción
	x	P,O		x	x	x	x	x

➤ **Datos de reactividad.**

Reacción principal y reacciones secundarias: Riesgo de ignición. Vapores pueden formar con agua mezclas explosivas.

Cinética de reacción: no se expone.

Contaminantes producidos: Humo tóxico de monóxido de carbono muy peligroso.

Reacciones de descomposición: Productos de combustión muy peligrosos como el humo tóxico de monóxido de carbono en caso de incendio.

➤ **Condiciones de almacenamiento y manipulación.**

Capacidad del recipiente de almacenamiento: 200 m³.

Forma del recipiente: cilíndrica vertical

Dimensiones del recipiente: H. 7m.

Material de construcción: acero al carbono.

Localización de la soldadura: Por rolos de chispa.

Longitud de la soldadura: 3.5 cm.

Protección del recipiente (exterior): pintura impermeabilizante.

Existencia de accesorios en el recipiente y su localización: medidores de nivel.

Fecha de fabricación del recipiente: 1989 en la URSS.

Condiciones de almacenamiento de la sustancia: Temperatura ambiente. Presión atmosférica.

Tipo de averías producidas: rajadura en la base del tanque y techo.

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

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

Uso en el proceso: Almacenamiento de nafta para reducir viscosidad al crudo.

Fallos ocurridos en estos equipos al operar con estas sustancias: rajadura en el fondo y el techo.

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

Anexo 3c: Clasificación y simbología para las sustancias. R y S

Indicación de riesgos específicos

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

Anexo 3c 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 3c 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 3c Continuación

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

Anexo 3d: Composición cromatografía del Gas Natural del Petróleo de la SES según *ENERGAS*.

Componentes	Fracción porcentual
Nitrógeno	0.288
Dióxido de Carbono	15.172
Sulfuro de Hidrógeno	10.600
Metano	37.066
Etano	5.954
Propano	8.354
i Butano	4.705
n- Butano	8.450
i Pentano	3.937
n- Pentano	2.113
Hexano	2.689
Heptano	0.672
Agua	0
Total	100

Anexo 4: Resultados del Árbol de Sucesos del gas natural correspondiente a la SES.

Cadena de sucesos	Escenarios probables	Frecuencia (a-1)
A	<i>Jet Fire</i>	0,0016
B	<i>Jet Fire</i>	0,0142
C	<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0016
D	<i>Jet Fire</i>	0,0142
E	<i>Jet Fire</i>	0,0018
F	<i>Jet Fire</i>	0,0166
G	<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0018
H	<i>Jet Fire</i>	0,0166
I1	Nube tóxica	0,2893
I2	Nube tóxica	0,3310
J	<i>Jet Fire</i>	0,0019
K	<i>Jet Fire</i>	0,0188
L	<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0019
M	<i>Jet Fire</i>	0,0188
N	<i>Jet Fire</i>	0,0021
Ñ	<i>Jet Fire</i>	0,0194
O	<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0021
P	<i>Jet Fire</i>	0,0194
Q	VCE	0,159
R	<i>Jet Fire</i>	0,0019
S	<i>Jet Fire</i>	0,0172
T	<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0019
U	<i>Jet Fire</i>	0,0172
V	<i>Jet Fire</i>	0,0022
W	<i>Jet Fire</i>	0,0196
X	<i>Jet Fire/BLEVE</i>	0,0022
Y	<i>Jet Fire</i>	0,0196
Z1	Nube tóxica	0,2276
Z2	Nube tóxica	0,2603

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Resultado de las áreas de atmósferas peligrosas evaluadas por ALOHA en la SES.

Anexo 5a: Comportamiento de las áreas de atmósferas peligrosas para la Nube Inflamable.

Temperatura(oC)		23.81	Segunda Etapa de Separación		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNE (D)	4,08	LOC-3	41	8	50
		LOC-2	59	14	60
		LOC-1	202	24	40
NNE (F)	4,08	LOC-3	52	18	40
		LOC-2	75	19	-
		LOC-1	261	32	40
ENE (D)	4,69	LOC-3	40	8	-
		LOC-2	58	16	-
		LOC-1	200	22	-
ENE (F)	4,69	LOC-3	51	14	60
		LOC-2	73	18	-
		LOC-1	278	30	-
SSE (D)	3,03	LOC-3	42	10	50
		LOC-2	61	20	60
		LOC-1	206	30	50
SSE (F)	3,03	LOC-3	54	20	50
		LOC-2	79	22	-
		LOC-1	271	40	60
E (D)	4,28	LOC-3	41	7	-
		LOC-2	58	16	-
		LOC-1	201	22	40
E (F)	4,28	LOC-3	52	15	50
		LOC-2	74	19	-
		LOC-1	260	26	60
SW (D)	2,42	LOC-3	44	14	-
		LOC-2	63	24	-
		LOC-1	210	41	60
SW (F)	2,42	LOC-3	58	20	50
		LOC-2	84	30	-
		LOC-1	281	44	60
SSW (D)	2,78	LOC-3	43	11	40
		LOC-2	62	20	-
		LOC-1	207	32	40
SSW (F)	2,78	LOC-3	55	18	40
		LOC-2	81	28	-
		LOC-1	274	44	-
CALMA	≤ 1	LOC-3	88	70	50
		LOC-2	126	90	-
		LOC-1	375	140	60

Fuente: elaboración propia.

Anexo 5b. Comportamiento de las áreas de atmósferas peligrosas para la VCE.

Temperatura(oC)		23.81	Segunda Etapa de Separación		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNE (D)	4,08	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	40	24	-
		LOC-1	55	76	-
NNE (F)	4,08	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	53	26	-
		LOC-1	69	82	-
ENE (D)	4,69	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	36	22	-
		LOC-1	53	72	-
ENE (F)	4,69	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	48	24	-
		LOC-1	63	82	-
SSE (D)	3,03	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	41	24	-
		LOC-1	61	85	-
SSE (F)	3,03	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	54	30	-
		LOC-1	73	92	-
E (D)	4,28	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	38	22	-
		LOC-1	54	73	-
E (F)	4,28	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	51	24	-
		LOC-1	68	84	-
SW (D)	2,42	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	49	27	-
		LOC-1	65	94	-
SW (F)	2,42	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	56	30	-
		LOC-1	78	104	-
SSW (D)	2,78	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	43	28	-
		LOC-1	64	88	-
SSW (F)	2,78	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	55	25	-
		LOC-1	75	100	-
CALMA	≤ 1	LOC-3	-	-	-
		LOC-2	90	50	-
		LOC-1	120	162	-

Fuente: elaboración propia.

Anexo 5c: Comportamiento de las áreas de atmósferas peligrosas para el Jet Fire.

Temperatura(oC)		23.81	Segunda Etapa de Separación		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNE (D)	4,08	LOC-3	15	23	-
		LOC-2	23	38	-
		LOC-1	35	64	-
NNE (F)	4,08	LOC-3	13	22	-
		LOC-2	22	38	-
		LOC-1	35	66	-
ENE (D)	4,69	LOC-3	16	24	-
		LOC-2	24	40	-
		LOC-1	36	65	-
ENE (F)	4,69	LOC-3	14	22	-
		LOC-2	23	38	-
		LOC-1	35	64	-
SSE (D)	3,03	LOC-3	14	22	-
		LOC-2	22	38	-
		LOC-1	35	63	-
SSE (F)	3,03	LOC-3	12	21	-
		LOC-2	21	34	-
		LOC-1	34	63	-
E (D)	4,28	LOC-3	16	13	-
		LOC-2	23	39	-
		LOC-1	35	64	-
E (F)	4,28	LOC-3	14	22	-
		LOC-2	22	38	-
		LOC-1	35	64	-
SW (D)	2,42	LOC-3	12	22	-
		LOC-2	21	37	-
		LOC-1	34	64	-
SW (F)	2,42	LOC-3	10	20	-
		LOC-2	20	36	-
		LOC-1	34	64	-
SSW (D)	2,78	LOC-3	13	22	-
		LOC-2	22	38	-
		LOC-1	35	64	-
SSW (F)	2,78	LOC-3	11	20	-
		LOC-2	21	34	-
		LOC-1	34	65	-
CALMA	≤ 1	LOC-3	10	20	-
		LOC-2	17	33	-
		LOC-1	32	62	-

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5d: Comportamiento de las áreas de atmósferas peligrosas para la Nube Tóxica.

Temperatura(oC)		23.81	Segunda Etapa de Separación		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNE (D)	4,08	TEEL-3	45	8	35
		TEEL-2	125	19	40
		TEEL-1	167	24	-
NNE (F)	4,08	TEEL-3	57	18	50
		TEEL-2	180	26	50
		TEEL-1	255	34	-
ENE (D)	4,69	TEEL-3	44	8	30
		TEEL-2	115	16	40
		TEEL-1	154	23	-
ENE (F)	4,69	TEEL-3	55	14	60
		TEEL-2	177	30	50
		TEEL-1	252	30	-
SSE (D)	3,03	TEEL-3	46	12	40
		TEEL-2	142	24	40
		TEEL-1	188	30	-
SSE (F)	3,03	TEEL-3	61	24	55
		TEEL-2	188	30	60
		TEEL-1	264	38	-
E (D)	4,28	TEEL-3	45	8	40
		TEEL-2	121	20	50
		TEEL-1	161	24	-
E (F)	4,28	TEEL-3	56	18	40
		TEEL-2	179	26	60
		TEEL-1	253	34	-
SW (D)	2,42	TEEL-3	49	15	60
		TEEL-2	146	17	50
		TEEL-1	206	40	-
SW (F)	2,42	TEEL-3	65	30	40
		TEEL-2	197	40	60
		TEEL-1	275	53	-
SSW (D)	2,78	TEEL-3	47	13	40
		TEEL-2	144	26	40
		TEEL-1	199	35	-
SSW (F)	2,78	TEEL-3	63	20	40
		TEEL-2	191	35	50
		TEEL-1	268	45	-
CALMA	≤ 1	TEEL-3	98	90	50
		TEEL-2	273	130	60
		TEEL-1	367	140	-

Fuente: elaboración propia.

Anexo 6: Áreas de atmósferas peligrosas en el almacén de nafta.

Anexo 6a: Áreas de atmósferas peligrosas para la Nube Inflamable.

Temperatura(oC)		23.81	Almacén de Nafta		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNW (D)	3,72	LOC-3	23	-	-
		LOC-2	35	-	-
		LOC-1	119	30	40
NNW (F)	3,72	LOC-3	44	-	-
		LOC-2	60	42	40
		LOC-1	181	74	60
E (D)	4,28	LOC-3	21	-	-
		LOC-2	32	-	-
		LOC-1	112	50	50
E (F)	4,28	LOC-3	38	-	-
		LOC-2	54	41	50
		LOC-1	169	64	60
SSW (D)	2,78	LOC-3	32	-	-
		LOC-2	45	-	-
		LOC-1	136	78	60
SSW (F)	2,78	LOC-3	54	60	50
		LOC-2	75	60	-
		LOC-1	208	100	-
S (D)	2,94	LOC-3	30	-	-
		LOC-2	44	-	-
		LOC-1	133	74	50
S (F)	2,94	LOC-3	53	56	50
		LOC-2	72	68	-
		LOC-1	203	100	60
SSE (D)	3,03	LOC-3	29	-	-
		LOC-2	43	-	-
		LOC-1	131	73	60
SSE (F)	3,03	LOC-3	52	50	45
		LOC-2	70	60	-
		LOC-1	200	94	60
WSW (D)	2,33	LOC-3	36	-	-
		LOC-2	53	56	55
		LOC-1	148	90	60
WSW (F)	2,33	LOC-3	64	74	55
		LOC-2	86	85	-
		LOC-1	228	140	-
SW (D)	2,42	LOC-3	36	-	-
		LOC-2	52	56	50
		LOC-1	146	90	-
SW (F)	2,42	LOC-3	62	60	60
		LOC-2	83	80	-
		LOC-1	224	120	-
CALMA	≤ 1	LOC-3	131	280	40
		LOC-2	159	290	-
		LOC-1	337	440	-

Fuente: elaboración propia.

Anexo 6b: Comportamiento de las áreas de atmósferas peligrosas para la VCE.

Temperatura(oC)		23.81	Almacén de Nafta		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNW (D)	3,72	LOC-3	-	-	
		LOC-2	27	19	
		LOC-1	44	67	
NNW (F)	3,72	LOC-3	-	-	
		LOC-2	48	26	
		LOC-1	65	90	
E (D)	4,28	LOC-3	-	-	
		LOC-2	19	17	
		LOC-1	40	60	
E (F)	4,28	LOC-3	-	-	
		LOC-2	39	24	
		LOC-1	57	82	
SSW (D)	2,78	LOC-3	-	-	
		LOC-2	30	25	
		LOC-1	55	86	
SSW (F)	2,78	LOC-3	-	-	
		LOC-2	56	32	
		LOC-1	81	108	
S (D)	2,94	LOC-3	-	-	
		LOC-2	32	26	
		LOC-1	54	84	
S (F)	2,94	LOC-3	-	-	
		LOC-2	52	32	
		LOC-1	77	109	
SSE (D)	3,03	LOC-3	-	-	
		LOC-2	31	22	
		LOC-1	52	80	
SSE (F)	3,03	LOC-3	-	-	
		LOC-2	54	32	
		LOC-1	74	108	
WSW (D)	2,33	LOC-3	-	-	
		LOC-2	40	30	
		LOC-1	64	98	
WSW (F)	2,33	LOC-3	-	-	
		LOC-2	64	38	
		LOC-1	89	126	
SW (D)	2,42	LOC-3	-	-	
		LOC-2	40	28	
		LOC-1	62	98	
SW (F)	2,42	LOC-3	-	-	
		LOC-2	62	36	
		LOC-1	87	124	
CALMA	≤ 1	LOC-3	-	-	
		LOC-2	128	54	
		LOC-1	165	175	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 6c: Áreas de atmósferas peligrosas generadas por la Nube Tóxica.

Temperatura(oC)		23.81	Almacén de Nafta		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNW (D)	3,72	TEEL-3	116	56	50
		TEEL-2	298	88	-
		TEEL-1	414	112	-
NNW (F)	3,72	TEEL-3	176	90	45
		TEEL-2	431	110	-
		TEEL-1	592	130	-
E (D)	4,28	TEEL-3	109	50	40
		TEEL-2	285	80	60
		TEEL-1	398	100	-
E (F)	4,28	TEEL-3	164	60	40
		TEEL-2	411	100	60
		TEEL-1	568	112	-
SSW (D)	2,78	TEEL-3	133	80	40
		TEEL-2	326	60	-
		TEEL-1	448	140	-
SSW (F)	2,78	TEEL-3	203	104	40
		TEEL-2	475	160	-
		TEEL-1	643	164	-
S (D)	2,94	TEEL-3	129	70	45
		TEEL-2	321	105	-
		TEEL-1	442	120	-
S (F)	2,94	TEEL-3	198	106	45
		TEEL-2	466	136	-
		TEEL-1	632	162	-
SSE (D)	3,03	TEEL-3	127	74	40
		TEEL-2	317	110	60
		TEEL-1	437	125	-
SSE (F)	3,03	TEEL-3	194	92	40
		TEEL-2	461	130	-
		TEEL-1	627	156	-
WSW (D)	2,33	TEEL-3	145	98	40
		TEEL-2	344	130	-
		TEEL-1	469	166	-
WSW (F)	2,33	TEEL-3	222	113	40
		TEEL-2	506	175	-
		TEEL-1	678	200	-
SW (D)	2,42	TEEL-3	142	90	45
		TEEL-2	340	130	-
		TEEL-1	465	143	-
SW (F)	2,42	TEEL-3	218	120	40
		TEEL-2	499	180	-
		TEEL-1	670	190	-
CALMA	≤ 1	TEEL-3	330	400	35
		TEEL-2	646	500	-
		TEEL-1	813	600	-

Fuente: elaboración propia.

Anexo 6d: Comportamiento de las áreas de atmósferas peligrosas para el Pool Fire.

Temperatura(oC)		23.81	Almacén de Nafta		
Nubosidad		4			
Humedad (%)		73			
Dirección del Viento	Veloc. Media del Viento (m/s)	Sobrepresión (psi)	Largo (m)	Ancho (m)	Afectación de locales interiores (min)
NNW (D)	3,72	LOC-3	19	26	
		LOC-2	25	40	
		LOC-1	37	65	
NNW (F)	3,72	LOC-3	17	28	
		LOC-2	24	40	
		LOC-1	37	66	
E (D)	4,28	LOC-3	20	28	
		LOC-2	26	40	
		LOC-1	37	64	
E (F)	4,28	LOC-3	18	28	
		LOC-2	25	40	
		LOC-1	37	66	
SSW (D)	2,78	LOC-3	17	28	
		LOC-2	24	42	
		LOC-1	37	67	
SSW (F)	2,78	LOC-3	13	26	
		LOC-2	20	40	
		LOC-1	33	66	
S (D)	2,94	LOC-3	13	26	
		LOC-2	20	41	
		LOC-1	23	67	
S (F)	2,94	LOC-3	13	26	
		LOC-2	20	42	
		LOC-1	33	68	
SSE (D)	3,03	LOC-3	18	27	
		LOC-2	25	40	
		LOC-1	37	65	
SSE (F)	3,03	LOC-3	13	26	
		LOC-2	20	40	
		LOC-1	33	68	
WSW (D)	2,33	LOC-3	13	26	
		LOC-2	21	40	
		LOC-1	34	66	
WSW (F)	2,33	LOC-3	13	25	
		LOC-2	20	40	
		LOC-1	33	67	
SW (D)	2,42	LOC-3	15	25	
		LOC-2	22	40	
		LOC-1	35	67	
SW (F)	2,42	LOC-3	13	17	
		LOC-2	20	40	
		LOC-1	33	68	
CALMA	≤ 1	LOC-3	13	26	
		LOC-2	20	40	
		LOC-1	33	68	

Fuente: elaboración propia.

Anexo 7: Resultados de la evaluación de *Probit* para los escenarios de SES.

Anexo 7a: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario VCE en las diferentes direcciones del viento.

Afectación	Dirección del Viento	SSE						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	5,51	2	1,11
Rotura de Timpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	4,752	2,796	1,66
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	40,04	1,542	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	4,727	-0,157	-2,995
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	39,1	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	7,826	3,316	0,696
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	4,619	0

Afectación	Dirección del Viento	ENE						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	2,51	1,2	0,81
Rotura de Timpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	3,234	1,81	1,052
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	3,994	0	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	0,937	-2,62	-4,514
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	0	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	4,327	1,043	-0,706
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	24,92	0	0

Afectación	Dirección del Viento	SW						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	2,42	1,3
Rotura de Timpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	3,164	1,965
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	50,44	3,53	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	5,396	0,761	-2,234
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	64,82	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	8,443	4,164	1,399
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	19,98	0

Afectación	Dirección del Viento	SSW						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	2,08	1,12
Rotura de Timpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	5,02	2,872	1,677
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	50,44	1,975	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	5,396	0,032	-2,952
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	64,82	-688,2	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	8,443	3,49	0,736
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	6,368	0

Afectación	Dirección del Viento	E						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	3,89	1,5	0,93
Rotura de Timpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	4,08	2,241	1,318
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	17,66	0	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	3,049	-1,544	-3,848
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	2,883	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	6,276	2,036	-0,092
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	89,37	0	0

Afectación	Dirección del Viento	CALMA							
	Distancias (m)	20	40	60	70	80	90	100	110
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	5,75	2,58	1,62	1,17
Rotura de Timpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	4,83	3,29	2,39	1,76
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	43,20	4,39	0,00	0,00
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,40	5,40	5,40	5,40	4,93	1,07	-1,17	-2,74
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	47,04	0,00	0,00	0,00
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,44	8,44	8,44	8,44	8,02	4,45	2,38	0,93
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	28,98	0,00	0,00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 7b: Porcentaje de afectaciones obtenidos por Probit para el escenario Jet Fire en las diferentes direcciones del viento.

Afectación	Dirección del Viento	SSE						
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35
	Radiación (kW/m ²)	13,5	10,7	7,54	4,94	3,68	2,7	1,87
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	5,7138	4,9204	3,7257	2,2823	1,2773	0,2203	-1,0335
	Porcentaje de Afectaciones	75,642	46,552	9,8133	-5,5833	0	0	0
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	7,5002	6,5646	5,1557	3,4537	2,2685	1,0221	-0,4564
	Porcentaje de Afectaciones	99,899	93,311	55,74	5,9474	0	0	0
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	10,807	9,8713	8,4625	6,7606	5,5755	4,3292	2,8508
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	94,96	71,147	24,995	1,8599

Afectación	Dirección del Viento	SW						
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35
	Radiación (kW/m ²)	12,2	10,4	7,23	5,01	3,38	2,36	1,76
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	5,3682	4,8234	3,5824	2,3304	0,987	-0,2391	-1,2404
	Porcentaje de Afectaciones	63,801	42,777	7,5546	0	0	0	0
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	7,0926	6,4501	4,9867	3,5103	1,9262	0,4804	-0,7004
	Porcentaje de Afectaciones	96,687	91,986	49,145	6,608	0	0	0
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	10,399	9,7568	8,2935	6,8172	5,2332	3,7875	2,6068
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	95,319	58,724	10,948	0,0424

Afectación	Dirección del Viento	SSW						
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35
	Radiación (kW/m ²)	12,9	10,3	7,3	5	3,48	2,58	1,95
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	5,5587	4,7904	3,6153	2,3235	1,0865	0,0651	-0,8905
	Porcentaje de Afectaciones	70,576	41,506	8,0278	0	0	0	0
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	7,3172	6,4112	5,0255	3,5023	2,0436	0,8391	-0,2878
	Porcentaje de Afectaciones	97,999	91,466	50,664	6,5098	-14,329	0	0
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	10,624	9,7179	8,3323	6,8092	5,3506	4,1462	3,0194
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	95,271	63,148	19,467	2,7296

Afectación	Dirección del Viento	E						
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35
	Radiación (kW/m ²)	16,7	14	9,09	6,24	3,86	2,78	2
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	6,4399	5,838	4,3638	3,0797	1,4403	0,32	-0,8041
	Porcentaje de Afectaciones	91,853	79,337	26,121	3,0456	0	0	0
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	8,3564	7,6466	5,9082	4,394	2,4607	1,1396	-0,1859
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	81,27	27,12	0	0	0
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	11,663	10,953	9,215	7,7009	5,7677	4,4467	3,1213
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	77,287	28,903	3,2766

Fuente: elaboración propia.

Anexo 8: Resultados de la evaluación de *Probit* para los escenarios evaluados en el almacén de nafta.

Anexo 8a: Porcentaje de afectaciones obtenidos por *Probit* para el escenario VCE en las diferentes direcciones del viento.

Afectación	Dirección del Viento	NNW						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	2,13	1,23	0,859
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	2,9177	1,8579	1,165
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	50,439	2,2147	0	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	0,1462	0	0
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	64,821	0	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	3,5962	1,1526	-0,445
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	7,7496	0	0

Afectación	Dirección del Viento	E						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	3,1	1,24	0,933	
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	3,6419	1,8735	1,3245	
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	8,4312	0	0	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	1,955	-2,4615	-3,833	
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	0	0	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	5,2662	1,1887	-0,077	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	59,978	0	0	0

Afectación	Dirección del Viento	S						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	4,78	1,81	1,15
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	4,4777	2,6035	1,7281
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	50,439	29,975	0,008	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	4,0423	-0,638	-2,825
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	64,821	16,667	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	7,1932	2,8717	0,8534
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	97,194	1,974	0

Afectación	Dirección del Viento	SSW						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	2,24	1,35
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	3,0148	2,0375
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	50,439	50,439	2,7063	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	5,396	0,3889	-2,052
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	64,821	64,821	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	8,443	3,8202	1,5669
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	11,59	0

Afectación	Dirección del Viento	SSE					
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	5,47	1,68
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	4,738	2,4596
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	50,439	39,5	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	4,6922	-0,998
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	64,821	37,768	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	7,7932	2,54
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	0

Afectación	Dirección del Viento	WSW							
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70	80
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	5,77	2,15	1,26
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	4,841	2,9357	1,9044
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	50,439	50,439	43,46	2,3067	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	5,396	4,9495	0,1912	-2,384
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	64,821	64,821	47,69	0	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	8,443	8,0308	3,6377	1,2599
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	100	8,3665	0

Afectación	Dirección del Viento	SW						
	Distancias (m)	10	20	30	40	50	60	70
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	6,33	4,39	1,62
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	5,0198	4,3134	2,3894
	Porcentaje de Afectaciones	50,439	50,439	50,439	50,439	50,439	24,493	0
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,396	5,396	5,396	5,396	5,396	3,632	-1,173
	Porcentaje de Afectaciones	64,821	64,821	64,821	64,821	64,821	8,2792	0
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,443	8,443	8,443	8,443	8,443	6,8144	2,3782
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	95,303	0

Afectación	Dirección del Viento	CALMA						
	Distancias (m)	40	60	80	100	120	130	140
	Sobrepresión (psi)	6,33	6,33	6,33	6,33	5,66	2,33	1,58
Rotura de Tímpano	Índice Probit	5,02	5,02	5,02	5,02	4,80	3,09	2,34
	Porcentaje de Afectaciones	50,44	50,44	50,44	50,44	42,02	3,11	0,00
Muerte por impacto del cuerpo	Índice Probit	5,40	5,40	5,40	5,40	4,86	0,58	-1,29
	Porcentaje de Afectaciones	64,82	64,82	64,82	64,82	44,07	0,00	0,00
Lesiones por Impacto del Cuerpo	Índice Probit	8,44	8,44	8,44	8,44	7,95	4,00	2,27
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	100	15,49	0,00

Fuente: elaboración propia.

Anexo 8b: Porcentaje de afectaciones obtenidos por Probit para el escenario Pool Fire en las diferentes direcciones del viento.

Afectación	Dirección del Viento	NNW							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	40
	Radiación (kW/m ²)	45,9	20,9	11,8	7,06	4,7	2,96	2,26	1,58
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	9,891	7,2057	5,2544	3,5012	2,1123	0,5341	-0,387	-1,609
	Porcentaje de Afectaciones	100	97,264	59,533	6,4963	0	0	0	0
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	12,426	9,2594	6,9584	4,891	3,2532	1,3921	0,3061	-1,135
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	96,065	45,402	4,1286	0	0	0
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	15,732	12,566	10,265	8,1978	6,5602	4,6992	3,6132	2,1726
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	93,266	38,032	7,9973	0

Afectación	Dirección del Viento	E							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	40
	Radiación (kW/m ²)	59	24,6	13,8	7,55	4,7	3,12	2,2	1,66
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	10,75	7,76	5,79	3,73	2,11	0,71	-0,48	-1,44
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	77,92	9,89	0,00	0,00	0,00	0,00
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	13,44	9,92	7,59	5,16	3,25	1,60	0,20	-0,94
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	55,95	4,13	0,00	0,00	0,00
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	16,74	13,22	10,90	8,47	6,56	4,91	3,50	2,37
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	100	93,27	46,19	6,54	0,00

Afectación	Dirección del Viento	SSW							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	
	Radiación (kW/m ²)	32,4	15,9	7,88	4,97	3,62	2,48	1,74	
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	8,7021	6,2724	3,8762	2,303	1,2212	-0,07	-1,279	
	Porcentaje de Afectaciones	100	89,304	12,751	0	0	0	0	
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	11,024	8,1588	5,3332	3,4781	2,2023	0,68	-0,746	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	62,503	6,2229	0	0	0	
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	14,33	11,465	8,64	6,785	5,5093	3,9871	2,5608	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	95,12	68,873	15,288	0	

Afectación	Dirección del Viento	S							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	
	Radiación (W/m ²)	29	15	7,93	5,2	3,5	2,33	1,65	
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	8,3237	6,0735	3,8978	2,4574	1,1061	-0,283	-1,461	
	Porcentaje de Afectaciones	100	85,34	13,22	0	0	0	0	
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	10,578	7,9243	5,3587	3,6601	2,0666	0,4289	-0,96	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	63,449	8,7165	0	0	0	
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	13,884	11,231	8,6655	6,967	5,3736	3,736	2,347	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	96,105	64,001	9,9954	0	

Afectación	Dirección del Viento	WSW							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	40
	Radiación (W/m ²)	32,4	15,9	8,29	4,97	3,26	2,33	1,79	1,35
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	8,7021	6,2724	4,0494	2,303	0,8636	-0,283	-1,183	-2,146
	Porcentaje de Afectaciones	193,06	89,304	16,85	-5,049	-209,4	-1002	-2532	-5733
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	11,024	8,1588	5,5374	3,4781	1,7807	0,4289	-0,632	-1,768
	Porcentaje de Afectaciones	2274,5	124,83	69,847	6,2229	-31,38	-406,4	-1470	-4233
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	14,33	11,465	8,8442	6,785	5,0877	3,736	2,6748	1,5394
	Porcentaje de Afectaciones	24468	3363,9	223,07	95,12	53,096	9,9954	0,6743	-56,87

Afectación	Dirección del Viento	SW							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	
	Radiación (W/m ²)	32,4	13,7	7,45	4,78	3,5	2,34	1,65	
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	8,7021	5,764	3,6847	2,17	1,1061	-0,268	-1,461	
	Porcentaje de Afectaciones	100	77,177	9,1146	0	0	0	0	
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	11,024	7,5594	5,1074	3,3212	2,0666	0,4461	-0,96	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	53,862	4,6628	0	0	0	
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	14,33	10,866	8,4142	6,6281	5,3736	3,7532	2,347	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	93,924	64,001	10,307	0	

Afectación	Dirección del Viento	CALMA							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	
	Radiación (W/m ²)	37,4	15	7,88	4,98	3,5	2,33	1,7	
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	9,192	6,0735	3,8762	2,3099	1,1061	-0,283	-1,359	
	Porcentaje de Afectaciones	100	85,34	12,751	0	0	0	0	
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	11,602	7,9243	5,3332	3,4861	2,0666	0,4289	-0,84	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	62,503	6,3173	0	0	0	
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	14,908	11,231	8,64	6,7931	5,3736	3,736	2,4672	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	95,171	64,001	9,9954	0	

Afectación	Dirección del Viento	SSE							
	Distancias (m)	5	10	15	20	25	30	35	
	Radiación (W/m ²)	31,5	15	7,91	4,98	3,5	2,41	1,7	
Muerte por Quemaduras	Índice Probit	8,606	6,0735	3,8892	2,3099	1,1061	-0,168	-1,359	
	Porcentaje de Afectaciones	100	85,34	13,031	0	0	0	0	
Quemaduras de 2do Grado	Índice Probit	10,911	7,9243	5,3485	3,4861	2,0666	0,5647	-0,84	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	63,072	6,3173	0	0	0	
Quemadura de 1er Grado	Índice Probit	14,217	11,231	8,6553	6,7931	5,3736	3,8718	2,4672	
	Porcentaje de Afectaciones	100	100	100	95,171	64,001	12,657	0	

Fuente: elaboración propia.