

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**“PREVENCIÓN Y CONTROL DE INCENDIOS Y EXPLOSIONES
EN LA PRODUCCIÓN Y ALMACENAMIENTO DE
GAS LICUADO DE PETRÓLEO - GLP”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO DE HIGIENE Y SEGURIDAD INDUSTRIAL**

PRESENTADO POR:

PULIDO MONTOYA, JOSÉ LUIS

LIMA, PERÚ

2005

**"Prevención y Control de Incendios y Explosiones en la Producción y
Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo - GLP "**

INDICE

	Pág.
Introducción	1
Objetivos	3
CAPITULO I : Marco Legal	4
1.1. Normativa Nacional	5
1.2. Normativa Internacional	9
CAPITULO II : Marco Teórico	10
2.1. Conceptos Generales	11
2.2. Teoría del Fuego	13
2.3. Teoría de las Explosiones	16
2.4. Explosiones de Gases y Vapores	19
2.5. Efectos de las Explosiones	22
2.6. Análisis de Riesgos	24
	25
CAPITULO III : Antecedentes Estadísticos de Accidentes Industriales	30
CAPITULO IV : Descripción de la Instalaciones	47
4.1. Descripción del Entorno	48
4.2. Descripción de la Empresa	48
4.2.1. Unidad de Protección Industrial	51

4.2.2. Política de la Empresa	56
4.2.3. Proceso Productivo	56
4.2.4. Descripción de la Red Contra Incendios	60
4.2.5. Otras facilidades	61
CAPITULO V : Análisis de Riesgos	63
5.1. Identificación cualitativa de cada suceso y de sus consecuencias posibles	64
5.2. Probabilidad de ocurrencia	64
5.3. Severidad del impacto	68
5.3.1. Dispersión de Gas	68
5.3.2. Fuego de Charco	73
5.3.3. Fuego de Dardo	78
5.3.4. BLEVE	80
5.3.5. Detonación no confinada UVCE	84
5.4. Análisis de Resultados	88
CAPITULO VI : Instrumentos de Control de Riesgos de Accidentes Mayores	92
Introducción	93
6.1. Prevención de Incendios y Explosiones	94
6.1.1. Sistemas para prevenir la desviación de condiciones de funcionamiento óptimas / permisibles	94
6.1.2. Sistemas que evitan el fallo de los componentes relacionados con la seguridad	96
6.1.3. Servicios	96
6.1.4. Prevención de los errores humanos y de organización	97
6.1.5. Plan de mantenimiento e inspecciones	98
6.1.6. Programa de capacitación del personal	99
6.1.7. Asignación de responsabilidades en relación con la seguridad de la planta	100

6.2. Control de Incendios y Explosiones	102
6.2.1. Sistemas de Alarma	102
6.2.2. Medidas de Protección Técnicas	103
6.2.3. Medidas de Mitigación	104
6.3. Plan de Emergencia, Incendios y Desastres	108
CAPITULO VII : Conclusiones	124
CAPITULO VIII : Recomendaciones	127
Bibliografía	130
Anexos	131

Cuadro N° 12: “Distancia en metros a la que se producen los niveles de sobrepresión críticos para daños personales”	87
Cuadro N° 13: “Distancia en metros a la que se producen los niveles de sobrepresión críticos para daños materiales”	87
Cuadro N° 14 : “Distancia (metros) de los Efectos más Severos de cada Evento”	89
Cuadro N° 15 : “Valor referencial de la severidad del impacto de cada evento ”	90
Cuadro N° 16 : “Nivel de riesgo para cada evento ”	91

INDICE DE GRAFICOS

Grafico N° 1: “Los escapes como fuente de incendio y explosión”	18
Grafico N° 2: “Porcentaje de Bleves por Producto”	44
Grafico N° 3 “Causas de Accidentes Blevé”	45
Grafico N° 4: “Organigrama de la Empresa”	50
Grafico N° 5: “Organización de la Unidad de Protección industrial”	51
Gráfico N° 6: “Árbol de sucesos”	67

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: “Distribución de los agentes químicos y explosivos causantes de los accidentes de la industria química española en 1998”	32
Tabla N° 2: “Accidentes mayores ocurridos en Japón desde 1945 hasta 1990”	33
Tabla N° 3: “Principales accidentes con sustancias peligrosas”	35
Tabla N° 4: “Accidentes más importantes registrados por MHIDAS y Marsh-McLennan en el periodo 1964–1995”	37
Tabla N° 5 “Accidentes Blevé más notorios ocurridos entre 1926 y 1986”	39

Introducción

El desarrollo de una metodología para prevenir la ocurrencia de los llamados accidentes industriales o accidentes mayores, se hace necesario, puesto que en la actualidad, y cada vez mas, los procesos tecnológicos que implican la utilización de productos químicos peligrosos, y más aún ahora en el Perú con la influencia que está teniendo en el sector industrial nacional en uso del Gas natural como alternativa a los combustibles tradicionales tales como petróleo residual, gasolina, diesel, entre otros, sobretodo por la ventaja que representa en cuanto al costo que representa esta sustitución, pero debe considerarse también que este cambio de tecnología implica la aceptación de un mayor nivel de riesgo en las actividades consideradas como comunes, el cual no debe ser ignorado, tal como se describirá mas adelante en el desarrollo de este volumen, solamente en el almacenamiento de GLP se encuentra una gran variedad de riesgos que implican un daño potencial bastante significativo en las instalaciones, un peligro para las personas expuestas y el medio ambiente circundante. El presente trabajo aparte de analizar los riesgos de incendio, pretende presentar una análisis mas detallado de los efectos que pueden originar los diferentes tipos de explosiones.

En el primer capítulo se hace un breve comentario de los contenidos de las normas referentes a la prevención y control de incendios además de las normas que establecen estándares para las instalaciones de producción y almacenamiento del Gas Licuado de Petróleo.

En el segundo capítulo se hace una reseña de los conceptos básicos de la teoría del fuego y las explosiones, explicando los factores fisicoquímicos que intervienen en la combustión, que es la base de la teoría del fuego y de las explosiones.

En el capítulo tres se realiza un análisis de los antecedentes de accidente industriales mayores acontecidos en el mundo en diversos tipos de empresas, ubicando entre estos a los accidentes que involucran incendios y explosiones y a los que se produjeron en Gas Licuado de Petróleo.

En el cuarto capítulo se realiza una descripción de la empresa que es objeto de estudio, incluyendo algunos datos de la zona, las características del proceso productivo, la organización de la seguridad en la empresa, y las políticas de la empresa en materia de seguridad y prevención de incendios.

El quinto capítulo es el desarrollo de los análisis de riesgos realizado en la empresa para cada peligro identificado en la planta, en lo relativo a incendios y explosiones de acuerdo a los datos mencionados en el capítulo anterior, teniendo como herramienta el uso de metodologías diversas para el cálculo de la severidad de los daños posibles

Finalmente en el capítulo sexto se propone la aplicación de instrumentos para el control de los accidentes mayores, teniendo como referencia los resultados del análisis de riesgo realizado en el capítulo anterior, y usando como base una metodología propuesta por la OIT para el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente), para el control de los riesgos de accidentes mayores.

Objetivos

Objetivo General:

1. Determinar las medidas técnicas necesarias para un sistema de prevención y control de incendios y explosiones en las instalaciones de una planta de producción y almacenamiento de GLP.

Objetivos Específicos:

1. Determinar los niveles de riesgo de incendio y explosión en las instalaciones de la planta de producción y almacenamiento de GLP.
2. Describir los diferentes tipos de Accidentes Industriales que involucran la presencia de fuego y el cálculo de sus consecuencias probables.
3. Proponer las medidas de seguridad para prevenir incendios y explosiones, así como para la actuación en caso de ocurrir estos eventos.

CAPITULO I :
MARCO LEGAL

1.1. Normativa Nacional

Entre los dispositivos legales aplicables a las instalaciones a que se hace referencia y al giro de la empresa, tenemos la Ley Orgánica de Hidrocarburos Ley N° 26221 y sus reglamentos; en los que se detallan una serie de medidas para regular las actividades en las que intervienen hidrocarburos, en las diferentes etapas en las que participa, tales como: exploración, explotación, procesamiento, refinación, almacenamiento, transporte, comercialización, etc. A continuación se hace referencia a los reglamentos de dicha ley que norman las actividades mencionadas, así como estipulan las disposiciones relativas al tipo de instalación que es motivo del presente estudio.

En si misma, la Ley Orgánica de Hidrocarburos Ley N° 26221, brinda mas bien lineamientos generales con el fin de dirigir las actividades de las empresas que se encuentran incluidas en el ámbito del sector hidrocarburos, proporcionando un contexto en el cual se desarrollan los respectivos reglamentos, los son específicos en cuanto a sus disposiciones, considerando el tema de seguridad, deben proporcionar los estándares sobre los que se rigen las actividades y el diseños propio de las instalaciones.

El Ministerio de Energía y Minas dictará las normas relacionadas con los aspectos técnicos de instalaciones y operaciones de exploración y explotación tanto de superficies como de subsuelo y seguridad. El OSINERG aplicará las sanciones respectivas en caso de incumplimiento. El Contratista está obligado a facilitar la labor de las entidades fiscalizadoras, a salvaguardar el interés nacional y atender la seguridad y la salud de sus trabajadores.

Reglamento para la Protección Ambiental en las Actividades de Hidrocarburos – D.S. N° 046-93-EM :

Entre otros temas menciona la obligatoriedad de contar con un Plan de

Contingencia para Derrames de Petróleo y Emergencias que debe contener información sobre las medidas a tomar en caso de producirse derrames, explosiones, accidentes, incendios, evacuaciones, etc.; las áreas de proceso deben estar sobre lozas de concreto y contar con un sistema para coleccionar fugas, a excepción de el área de tanques y los corredores de tuberías, precisa además otras medidas de protección ambiental para el almacenamiento de hidrocarburos.

Reglamento de Normas para la Refinación y Procesamiento de Hidrocarburos – D.S. N° 051-93-EM :

Establece normas y disposiciones para el diseño, construcción, operación y mantenimiento de plantas en que se procesan hidrocarburos, se dispone que en tanto no se tenga normativa nacional, se deberá diseñar y construir estas instalaciones de acuerdo con los códigos y estándares internacionales, prevaleciendo los que den mayor seguridad a las instalaciones, recomienda preferentemente la consulta y uso de las normas NFPA y API. La disposición de planta deberá realizarse tomando en consideración los criterios de prevención y lucha contraincendio, así como de la operabilidad y mantenimiento con seguridad de los equipos. Las bombas deben ser provistas de sellos mecánicos, los tanques deben ser diseñados a prueba de sismos, según normas API. deberán ser provistas de instalaciones y equipos para la lucha contraincendio acordes con su tamaño, complejidad y características de los productos que manufacturan, de acuerdo con las normas establecidas. Se deberá contar con el manual de seguridad para cada unidad y hacerla de conocimiento de todo el personal de operación. Los aspectos que serán cubiertos incluirán: Identificación de los riesgos mayores y su localización en la Planta, Instrucciones sobre la disponibilidad y uso de los equipos de seguridad y contraincendio, Planes detallados de contingencia en el caso de fuego o explosión, Instrucciones sobre las acciones a seguir en caso de accidentes, entre otros.

**Reglamento de Seguridad para el Almacenamiento de Hidrocarburos
– D.S. N° 052–93–EM :**

Establece normas y disposiciones para construir, operar y mantener instalaciones para Almacenamiento de Hidrocarburos, sea petróleo o derivados, en cualquiera de las etapas de la industria de los hidrocarburos, es decir, en la explotación, en el transporte, en la refinación y en la comercialización. Considera los hidrocarburos líquidos, gases licuados y/o líquidos criogénicos. Establece, entre otras cosas, distancias de seguridad entre tanques de almacenamiento a linderos o líneas de propiedad de terceros, a zonas de proceso y a otros tanques, siendo la distancia mínima de los tanques de almacenamiento de GLP de 60 metros a los linderos de la empresa y 28 metros a las demás áreas de proceso, entre esferas se tomará como distancia mínima la mitad del diámetro de la esfera mayor, la distancia mínima a una edificación debe ser de 30 metros, la distancia mínima los tanques a las bombas de GLP que toman de estos tanques es de 3 metros. Al menos un lado de cada tanque debe ser adyacente a una vía de acceso. El terreno alrededor de un tanque de almacenamiento de GLP deberá tener una pendiente y un sistema de drenaje, la capacidad del área estanca para cada esfera no deberá ser menor que el 25% del volumen del tanque. Se detallan requerimientos básicos para las esferas de GLP e instalaciones eléctricas. Toda instalación para almacenamiento de hidrocarburos debe tener un sistema de agua para enfriamiento; la capacidad de agua contraincendio de una instalación se basa en lo mínimo requerido para extinguir el incendio en el mayor tanque mas la cantidad de agua necesaria para enfriar los tanques adyacentes a dicho tanque, considerando un almacenamiento que permita asegurar el abastecimiento de agua para 4 horas según este régimen de diseño, considerando agua adicional para chorros de enfriamiento.

**Reglamento de Seguridad para Establecimientos de Venta al Público
de Combustibles Líquidos derivados de Hidrocarburos – D.S. N° 054–
93–EM :**

Es un complemento del Reglamento de Seguridad para las Actividades de Hidrocarburos, aplicable a las estaciones de servicio y plantas de ventas. Normas para la seguridad de las instalaciones, clasificación de áreas peligrosas, clasificación de combustibles, almacenamiento en cilindros.

Reglamento de Seguridad para Instalaciones y Transportes de Gas Licuado de Petróleo – D.S. N° 27-94-EM :

Normas para el diseño, construcción, mantenimiento y operación de las instalaciones y equipos, en que intervenga el GLP, tales como: plantas envasadoras, locales de venta de GLP en cilindros, transporte de GLP, Instalaciones de GLP para usuarios, transferencia de GLP; también especifica los mecanismos de extinción de incendios, estableciendo condiciones generales para la extinción y control de los incendios.

Normas Técnicas Peruanas (NTP) – INDECOPI :

Entre estas tenemos la norma *NTP 350.043-1 – Extintores Portátiles*; basada en la norma NFPA 10, esta norma determina los requerimientos que deben cumplir los extintores, las características de cada tipo de agente, la clasificación de los tipos de extintores según el tipo de fuego que son capaces de apagar, los criterios a tener en cuenta para su ubicación y distribución en edificaciones y establecimientos en general de acuerdo a un nivel de riesgos determinado en forma cualitativa según esta misma norma, se establecen lineamientos para las inspecciones que se deben realizar a los extintores, así como los procedimientos y requerimientos que deben cumplir las pruebas hidrostáticas a realizarse periódicamente. Otra norma a tener en cuenta es la *NTP 321.007 – Gas Licuado de Petróleo (GLP) – Requisitos*; en esta norma se consideran principalmente las características fisicoquímicas que debe cumplir el Gas Licuado de Petróleo, las concentraciones máximas y mínimas de cada componente dentro de esta mezcla de gases.

1.2. Normativa Internacional

Normas IEC – (International Electromechanical Commission).

Referidas a la electricidad, considera las restricciones y características de los equipos eléctricos a utilizar en las diferentes áreas o zonas de riesgo de acuerdo a la atmósfera del medio (Clasificación de áreas peligrosas).

Normas NFPA (National Fire Protection Assosiation – Asociación Nacional de Protección contra Incendios de los Estados Unidos) :

Es la familia de normas mas completa en el ámbito de la prevención y control de incendios, incluyen una serie de estándares y recomendaciones para la prevención y protección contra incendios en todos sus posibles escenarios, normando mecanismos de extinción, clasificación de fuego, además de diversos estudios acerca de las características y comportamiento del fuego, incluyendo metodologías análisis de riesgo. Entre las principales tenemos: NFPA 10 – Extintores portátiles, NFPA 13 – Sistemas de rociadores, NFPA 15 – Sistemas de aspersión de agua, NFPA 58 – GLP, NFPA 59 – Plantas de almacenamiento y manipulación de GLP, NFPA 69 – Sistemas de prevención de explosiones, NFPA 325 – Guía propiedades de peligro de incendio en líquidos inflamables, gases y sólidos volátiles, NFPA 921 – Guía para investigación de incendios y explosiones.

Normas API (American Petroleum Institute) :

Especificaciones técnicas para plantas de producción, refinerías y patios de almacenamiento de hidrocarburos API 2510 – “Diseño y construcción de instalaciones de terminales marinos de GLP, plantas de procesamiento de GLP, refinerías, Plantas petroquímicas y patios de tanques”, API 2510A – “Consideraciones de Protección contra incendios para el diseño y operación de tanques de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo (GLP)”.

CAPITULO II
MARCO TEÓRICO

2.1. Conceptos Generales

Gas Licuado de Petróleo (GLP) : Es una mezcla de hidrocarburos volátiles conformados principalmente por propano, propileno, butano, butileno, obtenidos de los líquidos del gas natural o de gases de refinería, los cuales pueden ser almacenados y manipulados como líquidos por aplicación de una presión moderada a temperatura ambiente y/o descenso de temperatura. El GLP proveniente de los gases de refinería contiene cantidades variables de propileno y butileno.

Peso específico absoluto : Peso de la unidad de volumen de una sustancia, en el caso de los gases ideales hasta 2 atm abs, se cumple que:

$$p.e.a. = \frac{PM}{RT} \quad P = \text{Presión} \quad R = 82.0567 \text{ atm cm}^3/\text{°K mol}$$

$$M = \text{Peso molecular} \quad T = \text{Temperatura absoluta}$$

Peso específico relativo a gases y vapores : Es el peso específico absoluto de tales sustancias referido (dividido por) el del aire en las mismas condiciones de presión y temperatura. Se entiende que es normal cuando se toman condiciones P T (1 atm abs y 273.16° K) también normales.

Presión de vapor de un líquido : Es la presión que ejercen las moléculas de una fase líquida sobre la fase vapor o gaseosa con la que está en contacto. Significa en términos de presión, la energía cinética de las moléculas del líquido.

Calor específico : Cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura de la unidad de masa en un grado.

Reacciones químicas : Son transformaciones en que unas sustancias reactantes dan lugar a otras sustancias productos y a unos efectos energéticos.

Accidentes Industriales : También conocidos en alguna bibliografía como accidentes industriales o accidentes tecnológicos. Son sucesos no deseados capaces de producir daños; en general en la industria química estos sucesos coinciden con situaciones de emisión, escape, vertido, incendio y explosión donde están implicadas sustancias peligrosas. En general se considera que están relacionados con fenómenos peligrosos de tipo térmico (radiación térmica), de tipo mecánico (ondas de presión y proyección de fragmentos), de tipo químico (emisión a la atmósfera o vertido incontrolado de sustancias contaminantes tóxicas). Se considera accidentes mayores, a aquellos en que se prevé que habrá como consecuencia posibles víctimas, daños materiales en la instalación industrial, y/o alteraciones al medio ambiente.

Límites de Inflamabilidad : La concentración máxima y mínima de un gas inflamable en presencia de aire, entre cuyos valores de mezcla aire-gas es inflamable, para el GLP los límites de inflamabilidad son:

Hidrocarburo	Límites de Inflamabilidad (% Vol.)
Propano	2.4 a 9.5
Propileno	2.4 a 11.1
n-Butano	1.6 a 8.5
iso-Butano	1.8 a 9.0
Butilenos	1.7 a 8.5

Densidad de vapor : Los gases y vapores mas pesados que el aire tienden a depositarse en zonas bajas, los mas ligeros que el aire tienden a subir y a concentrarse en las zonas altas. Debido a su gran movilidad y tendencia a escapar hacia arriba, es menos probable que los gases mas ligeros que el aire generen situaciones peligrosas que los gases mas pesados, que pueden acumularse en pozos, depósitos o sótanos.

Turbulencia : Las turbulencias en las mezclas aire-combustible aumentan la velocidad de llama y, por consiguiente, la velocidad de la combustión y

del aumento de presión. Las turbulencias pueden producir, con cantidades relativamente pequeñas de combustible, aumentos de presión capaces de producir graves daños, aunque la mezcla esté cerca de su límite inferior de explosividad (LIE). La forma y tamaño del recipiente puede tener efecto sobre la gravedad de la explosión, pues afectan a la naturaleza de la turbulencia.

2.2. Teoría del fuego

Se muestran a continuación algunas definiciones útiles para descifrar los mecanismos mediante los cuales se produce el fuego, la manera en la que se comporta y los métodos de extinción del mismo.

Triángulo del fuego – Tetraedro del fuego: La teoría del triángulo del fuego plantea que para que se produzca el fuego es necesario que concurren en forma simultánea tres elementos en las proporciones y cantidades adecuadas, estos elementos son: Combustible, Oxígeno y Calor formando entre estos tres elementos un triángulo, si llegara a eliminarse (o limitarse suficientemente) alguno de estos elementos el fuego se extinguiría. La teoría del tetraedro del fuego añade un elemento adicional a la teoría del triángulo del fuego, que es la Reacción Química en Cadena auto-alimentada y auto-sostenida, formando un vértice adicional que formaría un tetraedro, y de forma similar si ésta reacción es interrumpida se extinguiría el fuego.

Combustión: Es una reacción exotérmica autoalimentada con presencia de un combustible en fase sólida, líquida y/o gaseosa. El proceso está generalmente (aunque no necesariamente) asociado con la oxidación de un combustible por el oxígeno atmosférico con emisión de luz. Generalmente los combustibles sólidos y líquidos se vaporizan antes de arder. A veces un sólido puede arder directamente en forma de incandescencia o rescoldos. La combustión de una fase gaseosa generalmente se produce con llama visible. Una combustión confinada con una súbita elevación de presión constituye una explosión.

Ignición: Constituye el fenómeno que inicia la combustión autoalimentada. La ignición producida al introducir una pequeña llama externa, chispa o brasa incandescente, constituye la denominada ignición provocada. Si la ignición no la provoca ningún foco externo se denomina auto-ignición. Al comenzar la reacción química entre el combustible y el oxígeno, estos producen otras moléculas excitadas, así como también calor; si la cantidad de combustible y de oxígeno es suficiente y el número de especies excitadas es también adecuado, la ignición adopta la forma de reacción en cadena, dado que la velocidad de producción de moléculas activadas supera la tasa natural de desactivación. Una vez iniciada la ignición, continuará hasta consumir todo el combustible u oxígeno existente, o hasta que las llamas se apaguen por enfriamiento, por disminución del número de moléculas excitadas o por otra causa.

Incendio: Un incendio implica la rápida oxidación a temperaturas por encima de 815°C con presencia de productos gaseosos muy calientes y la emisión de radiaciones visibles e invisibles. Las temperaturas teóricas de llama de los distintos gases que arden en el aire (sin exceso de oxígeno), no varían de forma apreciable a pesar que existan importantes diferencias en el calor de combustión. Esto se debe a que los gases con mayor poder calórico necesitan de más aire para la combustión. La mayoría de las temperaturas de llama de los hidrocarburos (en condiciones de combustión óptimas, sin exceso de aire) varían entre 1926°C y 2315°C. Para alcanzar temperaturas más altas, estos gases y vapores necesitan aire precalentado y/o rico en oxígeno. Las condiciones normales de los incendios generan falta de oxígeno, combustión incompleta y temperaturas de llamas algo inferiores.

Mecanismos de extinción: Considerando los elementos del tetraedro del fuego, se determina que se puede extinguir el fuego eliminando uno (o varios, si es posible) de los elementos, de esta manera, se pueden eliminar: calor (enfriamiento), combustible, oxígeno, o reacción en cadena (inhibición de la reacción).

Extinción por enfriamiento: La eficacia de un agente extintor como medio de enfriamiento depende de su calor específico y calor latente, así como de su punto de ebullición. La superioridad de las propiedades extintoras del agua puede atribuirse a los valores relativamente altos de su calor específico y calor latente, y a su disponibilidad. Produce su efecto enfriador apartando el calor de las superficies sólidas que están ardiendo mediante una secuencia de acciones de conducción evaporación y convección. Puesto que el calor se disipa continuamente por radiación, conducción y convección, solo es necesario que el agua absorba una pequeña proporción del calor total generado por el fuego para extinguirlo por enfriamiento. Sin embargo, el agua debe alcanzar directamente el combustible incendiado. En áreas de gran peligro, en zonas de almacenamiento en altura, en estructuras elevadas y otros lugares de difícil accesibilidad para la lucha contra el fuego, resultan vitales los sistemas de protección contra incendios.

Extinción por dilución de oxígeno: El oxígeno se encuentra presente en el aire a una concentración de 20.9 %; como volúmenes iguales de gases contienen el mismo número de molécula, y es posible calcular la densidad de los mismos a partir de sus pesos moleculares, así como deducir que el porcentaje de oxígeno en un espacio dado se reduce cuando penetran gases “extraños”. El grado necesario de dilución del oxígeno para este objeto varía enormemente según el material combustible que esté ardiendo. Los gases y vapores de hidrocarburos no suelen arder cuando el nivel de oxígeno está por debajo del 15 %.

Extinción por eliminación del combustible: Muchos materiales clasificados como combustibles poseen diferentes características que afectan el modo de control del fuego, incluyendo una amplia gama de temperaturas de ignición, límites de inflamabilidad en el aire, puntos de inflamación, etc. La eliminación del combustible puede lograrse directamente, apartando del fuego el material combustible, o indirectamente, separando por algún procedimiento los vapores del

combustible en la combustión con llama o, en la que se verifica sin llama, cubriendo el combustible incandescente.

Extinción por inhibición química de la llama: Este método es aplicable solamente a los casos de combustión con llama, que se logra a través de medios químicos, con muy buenos resultados en cuanto a rapidez y a eficacia, en tanto que si se ejecuta adecuadamente es la única manera de impedir que se produzca una explosión en una mezcla de gas y aire, una vez que ha ocurrido la ignición; sus métodos de aplicación son muy complejos, utilizan aparatos de detección de incendio muy sensibles. En la combustión ocurren reacciones en cadena que han de ser inhibidas para detener la combustión. Las sustancias que tienen la propiedad de inhibir las llamas son: Hidrocarburos halogenados (Bromotrifluorometano, entre otros), sales metálicas alcalinas (Bicarbonato de sodio, bicarbonato de potasio, carbonato de potasio, cloruro de potasio), y sales de amonio (Monofosfato de amonio).

2.3. Teoría de las Explosiones

A continuación se detallan las principales definiciones de los fenómenos que intervienen en el desarrollo de las explosiones o efectos explosivos, así como explicar los efectos que se producen con las explosiones.

Explosión: Es la conversión repentina de energía potencial (química o mecánica) en energía cinética, con la producción y liberación de gases a presión o la liberación de un gas que estaba a presión. Estos gases que estaban a presión realizan un trabajo mecánico como desplazar, cambiar o dispersar los materiales cercanos.

Tipos de explosiones: Se consideran dos tipos principales, explosiones mecánicas y explosiones químicas

a.- Explosiones mecánicas: Son aquellas en las que un gas a alta presión produce una reacción exclusivamente física. Esa reacción

no supone cambios en la naturaleza química básica de la sustancia que hay en el recipiente. Una explosión puramente mecánica es la rotura de un depósito a alta presión que produce la liberación del gas almacenado. Las explosiones de vapores en expansión de líquidos en ebullición (BLEVE) son explosiones mecánicas que afectan a recipientes que contienen líquidos a presión a una temperatura superior a su punto de ebullición a la presión atmosférica.

BLEVE: Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (Explosión de Vapores en Expansión de Líquidos en Ebullición), son explosiones mecánicas que afectan a recipientes que contienen líquidos a presión a una temperatura superior a su punto de ebullición a la presión atmosférica; se produce cuando la temperatura del líquido y el vapor que hay en un depósito o recipiente cerrado, se eleva hasta un punto en que el recipiente ya no soporta el aumento de la presión interna. La rotura del recipiente hace que salga el líquido a presión, el que se evapora casi inmediatamente.

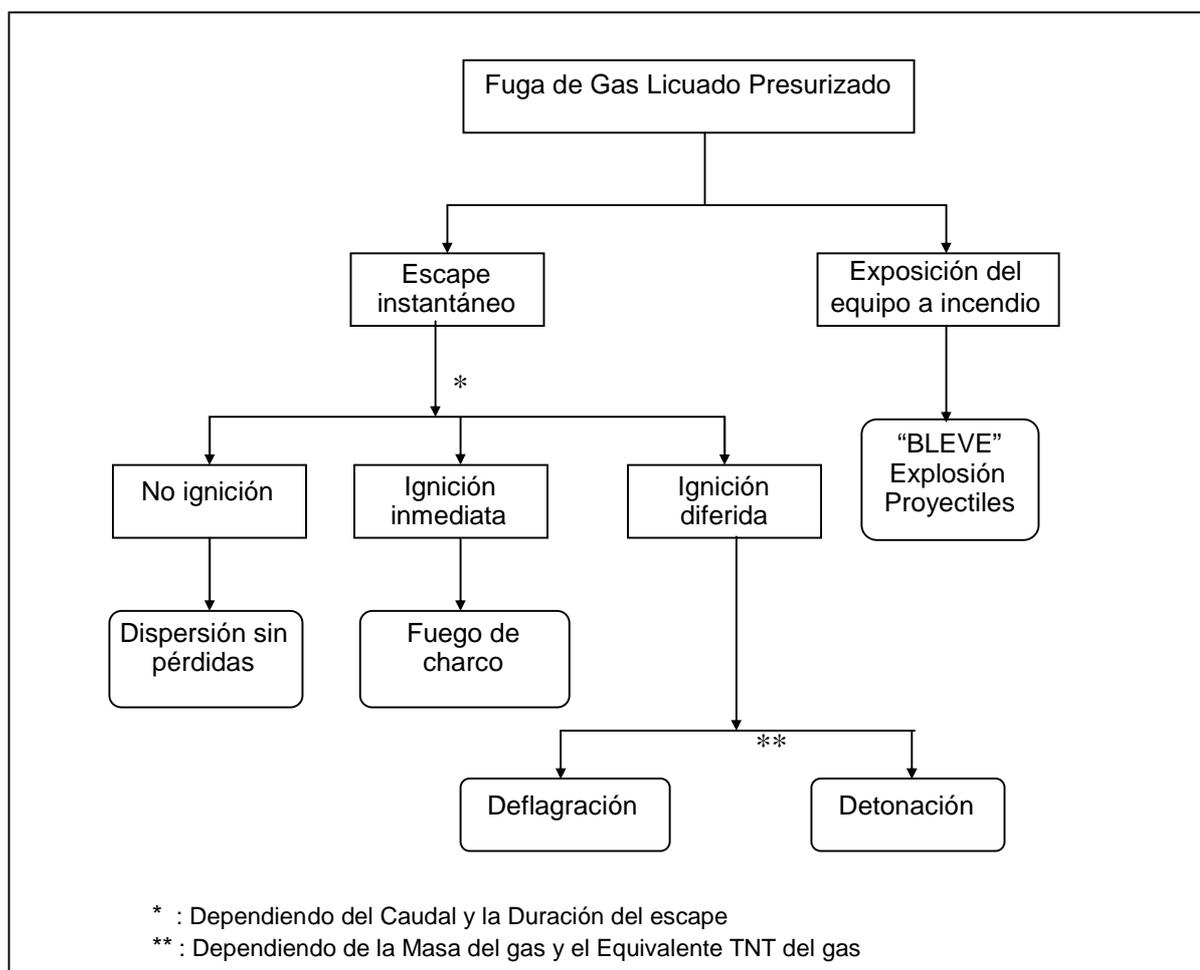
b.- Explosiones químicas: La generación de gases a alta presión es el resultado de las reacciones exotérmicas que hacen cambiar la naturaleza química del combustible. Las reacciones químicas que se producen como resultado de las explosiones se suelen propagar en un frente de reacción que se desplaza a partir del punto de la explosión.

Explosiones por combustión: Se caracterizan por la presencia del aire como comburente (oxidante). Se generan elevadas presiones por la combustión rápida del combustible y la consiguiente producción de subproductos de la combustión y gases calientes en gran volumen. Estas explosiones se clasifican como deflagraciones y detonaciones, según la velocidad de propagación del frente de llamas a través del

combustible. Las deflagraciones son reacciones por combustión en las que la velocidad de reacción es menor que la del sonido en el medio combustible sin reaccionar. En las detonaciones en cambio esta velocidad es mayor que la del sonido.

A continuación se presenta en el Gráfico N° 1 los posibles eventos que se podrían presentar al producirse la fuga de un gas licuado presurizado, indicando las variables que entran en juego para determinar cual de los eventos se producirá.

Gráfico N° 1: "Los escapes como fuente de incendio y explosión"



Fuente: Adaptado de: "Manual de Seguridad Industrial en la Plantas Químicas y Petroquímicas. Fundamentos, Evaluación de riesgos y Diseño".
 Año: 1998

2.4. Explosiones de Gases y Vapores

Las explosiones más corrientes son las de gases y vapores, sobretodo los gases combustibles o los vapores de líquidos inflamables. Los gases más ligeros que el aire pueden producir explosiones violentas, pero son menos frecuentes que las de los gases más densos que el aire.

Energía mínima de ignición de los gases y vapores: Los combustibles más fácilmente inflamables que pueden producir explosiones, son las mezclas de gases y aire. Su temperatura normal de ignición es del orden de los 370 a 590 °C. Su energía mínima de ignición comienza en unos 0.25 mJ (milijulios).

Interpretación de los daños causados por explosiones: Los daños causados por explosiones tienen que ver son diversos factores, como la relación combustible-aire, la densidad de vapor del combustible, el efecto de turbulencia, el volumen del espacio donde se produce la explosión, la situación e importancia de la fuente de ignición, la salida de los gases a la atmósfera y la resistencia característica de las instalaciones.

Relación combustible-aire: Las explosiones que se producen por mezclas de gases o vapores en su límite inferior de explosividad (LIE) o próximas al mismo, o en su límite superior de explosividad (LSE), son menos violentas que las que se producen a concentraciones óptimas (ligera por encima de la mezcla estequiométrica). La razón es que una relación de combustible y aire alejada de la estequiométrica, produce llamas a menor velocidad y presiones máximas inferiores. En general esas explosiones tienden a ocasionar daños de pequeña cuantía.

La velocidad de la llama es la velocidad de una llama que se propaga libremente desde un punto fijo y se obtiene sumando la velocidad de combustión y de traslación de frente de llamas. La máxima velocidad laminar de la llama del propano es de 4 m/s y del metano es de 3.5 m/s.

La velocidad de combustión es la velocidad de propagación de las llamas con relación a la de los gases sin quemar que se mueven por delante de

ellas. La velocidad fundamental de combustión es la de la llama laminar en condiciones normales de composición, temperatura y presión de los gases sin quemar. La velocidad fundamental de combustión es una característica intrínseca de cada combustible, y por lo tanto, un valor fijo, mientras que la velocidad de las llamas puede variar mucho según la temperatura, presión, volumen y forma del recipiente, concentración de combustible y turbulencias.

La velocidad de combustión es la velocidad a la que se el frente de llamas se mueve hacia la mezcla sin quemar, transformando químicamente el combustible y el comburente en productos de la combustión. Es inferior a la velocidad de las llamas. La velocidad de transición es la suma de la velocidad del frente de llamas causada por la expansión en volumen de los productos de la combustión debido al aumento de temperatura y al aumento en el número molar, mas la velocidad debida al movimiento de la mezcla gases-aire antes de la ignición. La velocidad de combustión del frente de llamas se puede calcular a partir de la velocidad fundamental de combustión en condiciones normales de temperatura, presión y composición de los gases sin quemar.

Las mezclas explosivas cercanas a su LIE no suelen producir incendios de gran magnitud después de la explosión, pues casi todo el combustible se consume en la propia explosión. Las mezclas explosivas cercanas a su LSE suelen producir incendios después de la explosión, debido a que la muestra are-combustible es mas rica. La combustión retardada del combustible restante produce un incendio. A menudo, una parte de la mezcla que está por encima de su LSE contiene combustible que no arde hasta que se mezcla con el aire durante la fase de presión negativa de la explosión, produciendo un fugo característico.

Cuando se producen explosiones óptimas (más violentas), casi siempre es porque la mezcla está casi o justo por encima de su relación estequiométrica (una proporción ligeramente mayor de combustible). Eso es lo que se llama mezcla óptima. Estas mezclas producen la combustión más eficaz y, por tanto, con mayor rapidez de llama, mayor velocidad de aumento de la presión, mayor presión máxima y, por consiguiente,

mayores daños. Si además se han producido bolsas de aire ricas, se originan incendios después de la explosión.

Naturaleza del espacio donde se produce la explosión: La forma, tamaño, tipo de construcción, volumen, materiales y diseño influyen en gran medida en los efectos de la explosión; esto sucede aunque la velocidad del frente de llamas y presión máxima producida sean prácticamente las mismas.

Alivio: En las explosiones de gases o vapores, el alivio del recipiente donde se producen influye enormemente en la naturaleza de los daños. El alivio del recipiente puede suprimir los efectos de una explosión, al permitir reducción de la presión producida por la explosión; aunque en las detonaciones los efectos de los alivios son mínimos, porque la gran velocidad de onda expansiva no permite que las aberturas reduzcan las presiones.

Explosiones múltiples: Los gases mas pesados que el aire se desplazan, formando acumulaciones de gas por los desniveles del suelo, si estas "bolsas" se encuentran lo suficientemente separadas una de la otra se puede producir explosiones múltiples, conocidas también como explosiones secundarias o en cascada. El desplazamiento y embolsamiento de gases produce a menudo zonas o bolsas con distintas mezclas aire-combustible. Puede haber una bolsa dentro del límite de explosividad del combustible y en una zona contigua puede haber otra que este por encima del LSE, si la primera bolsa explota, las fuerzas de la explosión que crean las fases de presión positiva y negativa, tienden a mezclar el aire con las mezclas mas ricas, haciendo que entre dentro de los límites de explosividad.

Explosiones de nubes de vapor al aire libre: Es el resultado de la salida de gases, vapores o nieblas a la atmósfera que forman una nube dentro de los límites de inflamabilidad del combustible, y esa nube se quema. La principal característica de este hecho es que dentro y fuera de los límites

de la nube se generan presiones potencialmente destructivas, debido a la deflagración o detonación. Este fenómeno se conoce como “Explosión de nube de vapor al aire libre” (UVCE).

2.5. Efectos de las Explosiones

Una explosión es un fenómeno de dinámica de gases que, en condiciones teóricas ideales, se manifiesta como un frente esférico en expansión de ondas de calor y presión. Esas ondas producen los daños característicos de las explosiones. Los efectos de las explosiones se producen de cuatro formas principales: efecto de la onda expansiva de la expansión, efecto metrallera, efecto del calor y efecto sísmico.

Efecto de la onda expansiva de la explosión: La explosión de un material produce una gran cantidad de gases que se expanden a gran velocidad, alejándose del punto de origen. Los gases y el aire que se desplazan producen una onda expansiva que es la principal responsable de los daños materiales y personales. La onda expansiva se produce en dos fases distintas, según la dirección de las fuerzas con respecto al punto de origen de la explosión: la fase de presión positiva y la de presión negativa.

1. **Fase de presión positiva:** Es la parte de la onda expansiva de la explosión durante la cual los gases en expansión se alejan del punto de origen. Esta fase es más potente que la negativa y a ella se deben la mayoría de los daños.
2. **Fase de presión negativa:** Como la expansión rapidísima de los gases en la fase de expansión positiva de la explosión los aleja de su punto de origen, el frente desplaza, comprime y calienta el aire que lo rodea. En el epicentro u origen se crea una zona de bajas presiones (con relación a la presión ambiente). Cuando se disipa la presión positiva, el aire vuelve rápidamente a la zona de origen donde había menos presión, creando la fase de presión negativa. Esta fase puede

causar daños secundarios, aunque produce mucho menor presión que la fase de presión positiva.

3. **Forma de la onda expansiva de la explosión:** En condiciones teóricas ideales, la onda expansiva de una explosión sería esférica y se expandiría uniformemente en todas las direcciones a partir del epicentro. Pero en condiciones reales, los obstáculos o límites que encuentra la onda expansiva hacen que cambie y se modifique su dirección, forma y fuerza. El contacto con la atmósfera de los gases contenidos en el recipiente puede hacer que se produzcan daños fuera de las estructuras; los daños máximos se producen en el camino que recorre el aire. La onda expansiva se puede reflejar en objetos sólidos y cambiar de dirección, produciendo un importante aumento de o un posible descenso de la presión, según las características del obstáculo. Cuando las reacciones de propagación ya no encuentran combustible, la fuerza de la onda expansiva disminuye a medida que aumenta su distancia al epicentro de la explosión.
4. **Velocidad de aumento de presión frente a presión máxima:** El tipo de daños causados por la onda expansiva de una explosión depende no solo de la cantidad total de energía generada, sino también, y con frecuencia en mayor medida, de la tasa de energía liberada y de la consiguiente velocidad de aumento de la presión. En explosiones en que la presión aumenta muy rápidamente, se producirán mayores destrozos en el recipiente y sus restos serán lanzados a mayor distancia, pues no hay tiempo suficiente para que se amortigüen los efectos de la onda expansiva. Si el aumento de presión es más lento, el efecto de alivio tendrá una gran influencia sobre la presión máxima alcanzada.

Efecto metralla: Cuando los contenedores o recipientes que sujetan o impiden la propagación de la onda expansiva se rompen, a menudo lo hacen en pedazos que pueden salir despedidos a gran distancia. Estos trozos se suelen llamar metralla y pueden causar graves daños materiales

y personales, a veces hasta muy lejos del origen de la explosión. La distancia a la que pueden llegar dichos productos depende en gran medida de su dirección inicial, su peso y de sus características aerodinámicas.

Efecto térmico: Las explosiones por combustión liberan grandes cantidades de energía que elevan a temperatura del ambiente y de los gases combustibles; esta energía puede hacer que ardan los combustibles próximos. Los daños térmicos dependen de la naturaleza del explosivo así como de la duración de la temperatura máxima. Las detonaciones producen temperaturas muy altas de muy poca duración, mientras que las deflagraciones producen temperaturas inferiores pero de mucho mayor duración.

Algunos efectos térmicos de las explosiones son las bolas de fuego y los objetos candentes. Las bolas de fuego son unas acumulaciones momentáneas de llamas que se producen durante o después de una explosión, que pueden producir radiaciones térmicas de gran intensidad y corta duración. Los objetos candentes son fragmentos ardiendo o muy calientes lanzados por la explosión. Estos elementos pueden dar origen a incendios lejos del origen de la explosión.

Efecto sísmico: A medida que se va expandiendo la onda expansiva y caen al suelo algunos elementos, su caída puede producir temblores que se transmiten a través del suelo. Estos efectos pueden ser despreciables en las explosiones pequeñas.

Factores determinantes de los efectos de una explosión: Estos factores son: el tipo y forma del combustible; la naturaleza, tamaño, forma y volumen del recipiente u objeto afectado; la situación y magnitud de la fuente de ignición; la salida a la atmósfera de la onda expansiva; la presión mínima relativa y la velocidad de aumento de la presión.

Modificadores de la onda expansiva: A medida que la onda expansiva se aleja del centro de la explosión, se afecta por distintos factores:

1. **Reflejo:** Si la onda expansiva encuentra algunos objetos en su camino, se puede ampliar debido a su reflejo. Ese reflejo hace en algunos casos que aumente más la presión, según el ángulo de incidencia. Sin embargo ese efecto es mínimo en las deflagraciones, donde la presión dentro del recipiente se va compensando aproximadamente a la velocidad del sonido en el aire.
2. **Refracción y concentración de la onda expansiva:** Las irregularidades atmosféricas pueden alterar a veces el comportamiento de la onda expansiva. Si encuentra una capa de aire de temperatura muy distinta, la onda se curva o refracta, por que la velocidad del sonido es proporcional a la raíz cuadrada de la temperatura del aire. Una inversión térmica de poca densidad puede hacer que se refracte una onda expansiva inicialmente semi-esférica y que se concentre sobre el suelo alrededor del centro de la explosión. Los cambios repentinos en la dirección del viento pueden hacer que la onda expansiva se concentre en esa dirección. Este efecto es mínimo con las deflagraciones.

2.6. Análisis de Riesgos

Para la determinación de los niveles de riesgos, el primer requisito es la identificación de los peligros que envuelven a las instalaciones, este proceso se realiza en dos fases, la primera para detectar posibles accidentes y la segunda para la caracterización de sus causas, o sea, los sucesos o cadenas de sucesos que provocan el incidente no deseado; la primera fase es relativamente sencilla, pero debe realizarse con mucha atención, ya que define el desenlace de la segunda.

Las técnicas de análisis tienen características distintas, lo cual las hace apropiadas para ser aplicadas a diferentes etapas de la vida de una

instalación o para proporcionar un nivel de detalle de estudio diferente

- **Análisis histórico de accidentes:** Su objetivo primordial es detectar los peligros presentes en una instalación por comparación con otras similares que hayan tenido accidentes registrados en el pasado. Analizando esos accidentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, si la información es suficiente, estimar la frecuencia de ocurrencia. La técnica se basa en una recopilación de accidentes en forma de banco de datos donde se encuentra almacenada la información relativa a los mismos, información que permite, de alguna manera el establecimiento de “puntos débiles” en el sistema cuya seguridad requiere estudiarse.
- **Análisis preliminar de peligros:** Este método es similar al análisis histórico de accidentes, aunque no se basa en el estudio de siniestros previos sino en la búsqueda bibliográfica de peligros que puedan hallarse presentes en una nueva instalación a partir de la lista de productos químicos presentes. El procedimiento consiste en obtener información completa sobre materiales, sustancias, reactivos y operaciones previstas, comparar estos procesos con otros de los que se tenga experiencia anterior, adaptar estas experiencias al caso actual y analizar las operaciones y equipos previstos desde el punto de vista de los peligros presente en cada uno (toxicidad, corrosividad, carga energética, etc.). Estos puntos críticos deben ser objeto de un estudio técnico algo más detallado. Por último, como resulta lógico, deberán proponerse las medidas a adoptar para disminuir o eliminar los peligros detectados.
- **Análisis “¿Qué pasa si...?” (What if...?):** Consiste en responder cualitativamente a una batería de preguntas del tipo “¿Qué pasa si...?”, en relación con las variables del proceso o los servicios necesarios. Para llevar a cabo este análisis de forma estructurada se recomienda seguir la línea de proceso, desde la recepción de materiales hasta la entrega del producto terminado.

- **Análisis mediante listas de comprobación:** Consiste en contrastar la realidad de la planta con una lista muy detallada de cuestiones relativas a los mas diversos ámbitos, tales como condiciones de proceso, seguridad o estado de las instalaciones o servicios. Es necesario para esto disponer de listas de comprobación específicamente desarrolladas para esa planta en concreto. A la hora de aplicar el análisis, basta con seguir la lista de referencia y responder a todas y cada una de las cuestiones planteadas, obteniendo así un perfil sobre el cumplimiento de los criterios de seguridad de la planta analizada.

- **Análisis de los modos de fallos y sus efectos:** este método persigue establecer los posibles fallos de todos y cada uno de los elementos de la planta, analizando las consecuencias y considerando aquellas que puedan desencadenar un accidente, sugiriendo las medidas a adoptar para controlar tales situaciones de peligro. Se inicia el estudio identificando todos los equipos de la planta y estableciendo sus condiciones normales de proceso; a continuación, para cada equipo, se detallan todos y cada uno de los fallos posibles y se analizan sus posibles consecuencias. Si se da la circunstancia de que una situación de fallo en un equipo produce una alteración en otro, debe trasladarse esta influencia al estudio del equipo afectado.

- **Análisis de peligros y operabilidad:** Se trata de una técnica de seguridad orientada a identificar circunstancias de peligro y de accidente, siendo la operación (la garantía de funcionamiento) un aspecto secundario; es un método absolutamente sistemático, porque se controlan todas y cada una de las variables de proceso, en todos y cada uno de los equipos de la planta. Se deben identificar todos los parámetros del proceso y sus condiciones de trabajo habituales, analizando de manera sistemática las desviaciones posibles. Se inicia el estudio identificando los equipos y líneas principales de la planta; para cada equipo o línea se relacionan todos los parámetros que

afectan al sistema y se concretan sus condiciones habituales de proceso, a continuación, ayudados por unas palabras guía, se intenta incentivar la creatividad de los participantes en el estudio para que identifiquen cuales serían las consecuencias de que la variable estudiada se desviara de la condición de proceso en la forma indicado por la palabra guía (mas temperatura, menos pH, etc.).

- **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 o causales, mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos. Se inicia su aplicación con la identificación de los sucesos capitales tales como “explosión de un reactor”; se establecen a continuación los sucesos iniciadores que son capaces de por sí o en combinación con otros, de desencadenar el suceso capital y se estructura el árbol de fallos mediante puertas lógicas, se asigna a cada suceso básico la probabilidad de ocurrencia, conocida por propia experiencia o por consulta a bancos de datos sobre la materia, y por último se calcula la probabilidad de los sucesos compuestos mediante la aplicación del álgebra de Boole hasta alcanzar el suceso capital.

- **Análisis mediante árboles de sucesos:** Mediante esta técnica se pretende estructurar la secuencia de eventos básicos que desencadena un tipo de accidente concreto, estableciendo también las probabilidades de ocurrencia, si el conocimiento de los sucesos básicos lo permite; para su aplicación se identifican los sucesos básicos o iniciadores y se aplican todas las disyuntivas lógicas que sean procedentes hasta obtener una representación gráfica en forma de árbol horizontal, en la que quedan representadas todas las posibles evoluciones del sistema según se den o no las diferentes alternativas planteadas, hasta los sucesos accidentales finales.

- **Análisis de causas y consecuencias:** Es una combinación de árboles de fallos y árboles de sucesos por lo que también se utilizan símbolos lógicos y asignación de probabilidades a cada uno. Se elige un suceso capital como origen de la evaluación, se identifican los sucesos condicionales y se establece la secuencia lógica de acontecimientos incluyendo las disyuntivas existentes. En este árbol se mezclan eventos “fallos” con eventos “sucesos”.
- **Índices de riesgos:** Son para aplicación en instalaciones complejas, en las que se evalúan una serie más o menos detallada de parámetros y se cuantifican unos valores que se permiten una evaluación del nivel de riesgo de la instalación analizada. Su grado de descripción de la instalación es limitado, por lo que los resultados obtenidos son genéricos y pueden pasar por alto algunos factores.

CAPITULO III :
ANTECEDENTES ESTADÍSTICOS
DE ACCIDENTES INDUSTRIALES

Uno de los elementos mas importantes a tener en cuenta para la aproximación a la ocurrencia de accidentes son los datos estadísticos de eventos similares ocurridos en instalaciones con características en similares o que tengan relación con el producto químico en estudio (en este caso el Gas Licuado de Petróleo), esto nos permitirá, en primer lugar, relacionar entre sí algunas variables, y en segundo lugar, estimar la frecuencia con que estos eventos ocurren (teniendo en cuenta un margen de error considerable).

Para realizar este estudio, se cuenta con información obtenida de algunas bases de datos que se dedican a recopilar información de accidentes industriales, tales como la base de datos MHIDAS, y la base de datos de la Fundación MAPFRE Estudios, además de la que ha sido tomada de la bibliografía consultada, las cuales pueden proporcionar información muy útil para predecir la frecuencia, e inclusive la severidad de los accidentes, los tipos de fallas más recurrentes, e inclusive, haciendo un análisis muy detallado – el cual, debido a su complejidad no será realizado en este estudio - se pueden aproximar los costes económicos de los accidentes industriales mayores. Encontrando relaciones estadísticas entre cantidad de producto involucrado y severidad de daños, por citar un ejemplo.

La ventaja que nos aportan las bases de datos frente a los modelos matemáticos teóricos, es que en las instalaciones industriales hay muchas variables; tales como antigüedad de la planta, corrosión, fallas en las soldaduras, fallas de válvulas e instrumentos; que hacen que la predictibilidad y el cálculo exacto de la magnitud de los eventos sea muy difícil de aproximar en la realidad, en tanto que al tener un análisis de eventos que ya sucedieron, nos proporciona la ventaja de tener datos “experimentales” que nos pueden permitir obtener algunas conclusiones interesantes, y servir de base para la aproximación de situaciones similares.

Además de darnos una idea de la importancia de evitar que estos eventos sucedan debido al gran potencial dañino que tienen sucesos, se ve la necesidad de aplicar las medidas necesarias para prevenir estos accidentes y tener la preparación para hacerles frente en forma efectiva si es que llegaran a ocurrir.

La desventaja al realizar este tipo de análisis es que existe una gran parte de accidentes que no son registrados, o que no presentan información completa respecto a algunos datos, como por ejemplo empresas que consideran esta información como confidencial y no la hacen pública ni la reportan en forma detallada, lo cual puede afectar algunos de los datos reduciendo la cantidad de datos a considerarse.

Para tener una idea de los diferentes agentes que pueden causar los accidentes industriales, se presenta a continuación en la tabla N° 1 un resumen realizado en España en 1998 de los principales agentes químicos y explosivos causantes de los accidentes de la industria química.

Tabla N° 1: “Distribución de los agentes químicos y explosivos causantes de los accidentes de la industria química española en 1998”

Agente Causante	N° de accidentes	Porcentaje del total (%)
Agentes químicos sin especificar	4043	44,4
Cáusticos y corrosivos	3478	38,2
Tóxicos y venenosos	465	5,1
Asfixiantes e irritantes	428	4,7
Productos inflamables (no explosivos)	350	3,8
Anestésicos y alergénicos	191	2,1
Explosivos sólidos	66	0,7
Explosivos líquidos y gaseosos	61	0,7
Atmósferas deflagrantes	31	0,3
TOTAL	9113	100,0

Fuente: NFPA 921 - Guía para la investigación de incendios y explosiones.

Año: 1999

En esta tabla el GLP está incluido en los rubros de explosivo líquido y gaseoso, como atmósfera deflagrante y como producto inflamable, que sumados tienen

una participación del 4.8 % del total, esto sin considerar la posibilidad que se encuentre incluido en alguna proporción en los agentes químicos sin especificar. Se debe entender que estos datos reflejan también los casos considerados como leves, en los que no se produjeron daños significativos

También se tienen datos de accidentes industriales acontecidos en Japón entre los años 1945 y 1990, en este caso, la descripción nos permite conocer con cierto detalle la causa y el producto químico involucrado; los procesos involucrados mencionan reacciones fuera de control, y principalmente explosiones e incendios. Todos ocurridos dentro de plantas industriales con un número de fallecimientos y de heridos. Tal como se muestra en la Tabla N° 2

Tabla N° 2: “Accidentes mayores ocurridos en Japón desde 1945 hasta 1990”

Año	Descripción	N° Muertos	N° Heridos
1949	Explosión e incendio en una factoría de extracción de grasa	5	2
1952	Explosión en un proceso de separación de sulfato de amonio	7	11
1954	Explosión por hexano en una factoría de recuperación de grasas animales	21	162
1956	Explosión de hexano en una factoría de extracción de aceite de soja	11	7
1958	Explosión de aire líquido en una planta de síntesis de amoníaco	11	40
1960	Explosión e incendio de hexano en una planta de extracción de grasas	11	10
1964	Reacción fuera de control en un proceso de polimerización de óxido de propileno	18	171

Continúa en la siguiente página ...

... viene de la página anterior

Año	Descripción	N° Muertos	N° Heridos
1964	Descomposición y explosión de una planta de polietileno a alta presión	38	0
1969	Incendio de vapor combustible en una factoría de recuperación de neumáticos	11	7
1973	Reacción fuera de control en una polimerización	0	101
1978	Explosión en reactor por reacción fuera de control	2	10
1978	Reacción fuera de control en una isomerización	6	9
1982	Reacción fuera de control en la puesta en marcha de la agitación tras una parada accidental	6	184
1990	Explosión en un proceso de fabricación de peróxidos	9	17
Total		156	731

Fuente: "Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los Accidentes Industriales aplicando el Análisis Histórico"

Año: 2001

Considerando ahora los principales accidentes industriales producidos a nivel mundial entre los años 1974 y 1988, en los que intervienen sustancias químicas consideradas como peligrosas tenemos la Tabla N°3 que resume las consecuencias de estos casos, indicando los productos químicos involucrados y la relación con el número de muertos heridos y evacuados. De este total de 31 casos, 5 involucran GLP o alguno de sus componentes principales (Gas, Propano, Butano, Propileno, GLP) que suman más de 1 000 muertos, siendo el más significativo el accidente de San Juan de Ixhuatepec en México el año 1984, que dejó un saldo de 503 fallecidos y 7 000 heridos al resultar afectada una población cercana, siendo necesario la evacuación de 60 000 personas.

Tabla N° 3: “Principales accidentes con sustancias peligrosas”

Lugar	Año	N° muertos	N° heridos	N° evacuados	Sustancia química
Yokkaichi, Japon	1974	0	521	0	Cloro
Cuernavaca, México	1977	2	500	2 000	Amoniaco
Iri, Corea del Sur	1977	57	1 300	0	Explosivos
Els Alfacs, España	1978	216	200	0	Propileno
Xilatopec, Mexico	1978	100	200	0	Butano
Three Mile Isl., USA	1979	0	0	200 000	Reactor nuclear
Mississauga, Canada	1979	0	200	220 000	Cloro y propano
Novosibirsk, URSS	1979	300	?	?	Productos químicos
Somerville, USA	1980	0	418	23 000	Tricloruro de fósforo
Danaciobasi, Turquía	1980	107	0	0	Butano
San Juan, Brasil	1981	0	2 000	0	Cloro
Montanas, Mexico	1981	28	1 000	5 000	Cloro
Melbourne, Australia	1982	0	1 000	0	Butadieno
Tacoa, Venezuela	1982	145	1 000	40 000	Petróleo
Nilo, Egipto	1983	317	0	0	GLP
Cubatao, Brasil	1984	508	?	0	Gasolina
S. Juan Ixhuatepec, México	1984	503	7 000	60 000	GLP

Continúa en la siguiente página ...

... viene de la página anterior

Lugar	Año	N° muertos	N° heridos	N° evacuados	Sustancia química
Bhopal, India	1984	2 800	50 000	200 000	Isocianato de metilo
Rumania	1984	100	100	?	Productos químicos
Miamisburg, USA	1986	0	140	40 000	Ácido fosfórico
Chernobil, URSS	1986	32	299	135 000	Reactor nuclear
Alejandro Egipto	1987	6	460	?	Instalaciones militares
Shangsi, China	1987	0	1 500	30 000	Abonos (agua)
Piper Alpha, Mar del Norte	1988	167	?	0	Petróleo y Gas
Tours, Francia	1988	0	3	200 000	Productos químicos
Guadalupe, México	1988	20	?	200 000	Petróleo
Islamabad, Pakistan	1988	>100	>3 000	?	Explosivos
Chihuahua, México	1988	0	7	150 000	Petróleo
Arzamas, URSS	1988	73	720	90 000	Explosivos
Sverdlovsk, URSS	1988	4	500	0	Explosivos
Sibenik, Yugoslavia	1988	0	0	60 000	Abonos
TOTAL		>5 585	>72 068	>1 655 000	

Fuente : "Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales"

Año : 2001

Se puede apreciar que de los 31 casos mencionados, 13 (42%) se han producido por hidrocarburos, incluyendo petróleo y gas

Se tiene también información de bancos de datos de accidentes industriales y estudios realizados con ese respecto, en los cuales se hacer una recopilación de los accidentes mas notables, tal como se muestra a continuación en la tabla N° 4

Tabla N° 4: “Accidentes más importantes registrados por MHIDAS y Marsh-McLennan en el periodo 1964–1995”

Año	Sustancia	Cantidad	Daños MM US\$	País	Tipo de Accidente	Origen
1964	Petróleo crudo	> 99 999 Tm	284.5	Japón	Fuga-Incendio	Almacén
1974	Petróleo crudo	8 000 Tm	392.3	Japón	Fuga	Almacén
1974	Ciclohexano	433 Kg	152.7	R. Unido	Nube-Explosión	Proceso
1981	NO6 Fuel Oil	350 Tm	359.9	USA	Fuga	Transporte
1984	Propano	?	225.9	USA	Incendio-Bleve	Proceso
1986	Petróleo crudo	> 10 000 Tm	359.6	Grecia	Incendio-Explosión	Almacén
1987	Butano	?	353.6	USA	Explosión- Incendio	Proceso
1987	Gas	?	253.8	USA	Nube-Incendio	Proceso
1988	Gas C3	20 000 Lb	283.8	USA	Nube-Explosión	Proceso
1989	Petróleo crudo	?	322.2	Nigeria	Incendio	Proceso
1989	Isobutano	10 TNT eq	724.9	USA	Nube-Explosión	Proceso
1991	Gas	?	278.6	Alemania	Explosión	Comercial
1992	Gas	?	394.3	Francia	Explosión- Incendio	Proceso
1992	Gas	10 000 Lb	277.1	Francia	Nube-Explosión	Proceso

Fuente: “Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los Accidentes Industriales aplicando el Análisis Histórico”

Año : 2001

En la tabla N°4 se puede observar los principales accidentes registrados en la Base de Datos MHIDAS y en el informe Marsh–McLennan en entre 1964 y 1995, se consideran accidentes del tipo incendio y/o explosión como los mas significativos pudiendo producirse en forma independientemente o uno como consecuencia del otro, o alguno de ellos como consecuencia de una fuga o la formación de una nube de gas, el origen de los mismos se da principalmente en las áreas de proceso y de almacenamiento, aunque también se presentan casos en áreas comercial y durante el transporte, pero en mucho menor proporción, es notable el considerar la magnitud de los daños los cuales están en el orden de los MM US\$ 300, sumando un total de los 14 casos en MM US\$ 4 663. De estos 14 casos 9 involucran gases (ciclohexano, propano, butano, gas e isobutano) presentando en 8 de estos casos una explosión, sea como evento inicial o a partir de la formación de una nube, o como consecuencia de un incendio, como en el caso de la Blevé ocurrida en USA. En 5 de estos casos el evento inicial fue la formación de una nube de gas culminando 4 de ellas en una explosión y la otra en un incendio, en los otros 3 casos el evento inicial fue una explosión, que en dos de estos casos estuvo seguida de un incendio. Es notorio de este análisis que el impacto económico que representan los accidentes es muy alto. El cálculo de los daños está valorizado con el índice Chemical Engineering a 1999, según lo aplicado por Marsh-McLennan.

Haciendo un análisis más exhaustivo de los accidentes tipo Blevé se tiene la tabla N° 5, en la cual se han registrado solamente eventos de tipo Blevé por sus propias características y peculiaridades, se mencionan 50 casos registrados entre los años 1926 y 1986, en su mayoría ocurridos en Europa y los Estados Unidos.

Del análisis de los datos presentados en esta tabla, pueden obtenerse algunas relaciones interesantes, la mas notoria es que no existe relación directa entre la cantidad de material involucrado en la BLEVE y la cantidad de fallecidos en cada caso, dependerá en todo caso de las particularidades de cada episodio, como por ejemplo: distancia de centros poblados, efectividad del plan de emergencia-contingencia, cantidad de personas involucradas en las tareas de extinción de incendio (si fuera el caso), inflamabilidad del producto involucrado, entre otras.

Tabla N° 5 “Accidentes Blevé más notorios ocurridos entre 1926 y 1986”

Fecha	Lugar	Causa	Material	Cantidad (Toneladas)	N° Muertos
13-12-1926	St. Auban, Francia	Rebosamiento	Cloro	25	19
28-5-1928	Hamburgo, Alemania	Reacción fuera de control	Fosgeno	10	10
10-5-1929	Syracusa, USA	Explosión (H ₂)	Cloro	25	1
24-12-1939	Zarnesti, Rumania	Rebosamiento	Cloro	10	60
29-7-1943	Ludwigshafen, Alemania	Rebosamiento	Butadieno	16	57
5-11-1947	Roemo, Finlandia	Rebosamiento	Cloro	30	19
28-7-1948	Ludwigshafen, Alemania	Rebosamiento	Québ etílico	33	209
7-7-1951	Port Newark, USA	Fuego	Propano	2600	0
4-4-1952	Walsum, Alemania	Rebosamiento	Cloro	15	7
4-1-1954	Institute, USA	Reacción fuera de control	Acroleína	20	0
1957	Québec, Canada	Fuego	Butano	?	1

Continúa en la siguiente página ...

... viene de la página anterior

Fecha	Lugar	Causa	Material	Cantidad (Toneladas)	N° Muertos
1958	Michigan, USA	Rebosamiento	Butano	55	1
28-6-1959	Meldria, USA	Descarrilamiento	Propano	55	23
18-8-1959	Kansas City, USA	Fuego	Gasolina	20	5
17-4-1962	Doe Run, USA	Reacción fuera de control	Óxido de etileno	25	1
4-1-1966	Feyzin, Francia	Fuego	Propano	1000	18
1-1-1968	Donreith, USA	Descarrilamiento (fuego)	Óxido de etileno	2	0
21-8-1968	Lieven, Francia	Mecánica	Amoníaco	29	5
2-1-1969	Repcelak, Hungría	Rebosamiento	Dióxido de carbono	35	9
25-1-1969	Laurel, USA	Descarrilamiento (fuego)	Propano	65	2
18-2-1969	Crete, USA	Descarrilamiento	Amoníaco	65	8
1969	Cumming, USA	Descarrilamiento	Amoníaco	?	?

Continúa en la siguiente página ...

... viene de la página anterior

Fecha	Lugar	Causa	Material	Cantidad (Toneladas)	N° Muertos
11-9-1969	Glendora, USA	Fuego	Cloruro de vinilo	55	0
21-6-1970	Crescent City, USA	Descarrilamiento (fuego)	Propano	275	0
19-1-1970	Baton Rouge, USA	Sobrepresión	Etileno	4	0
19-10-1971	Houston, USA	Descarrilamiento (fuego)	Cloruro de vinilo	50	1
9-2-1972	Tewksbury, USA	Colisión	Propano	28	2
30-3-1972	Rio de Janeiro, Brasil.	Fuego	Propano	1000	37
21-9-1972	New Jersey, USA	Colisión	Propileno	18	2
27-11-1972	S.Antonio, USA	Corrosión	Dióxido de carbono	0,01	0
5-7-1973	Kingman, USA	Fuego	Propano	100	13
11-1-1974	West S. Paul, USA	Fuego	Propano	27	4
12-2-1974	Oneonta, USA	Descarrilamiento (fuego)	Propano	288	0
29-7-1974	Pueblo, USA	Fuego	Propano	80	0
29-4-1975	Eagle Pass, USA	Colisión	Propano	18	16
14-12-1975	Niagara Falls, USA	Reacción fuera de control	Cloro	20	4

Continúa en la siguiente página ...

... viene de la página anterior

Fecha	Lugar	Causa	Material	Cantidad (Toneladas)	N° Muertos
11-5-1976	Houston, USA	Colisión	Amoníaco	20	6
31-8-1976	Gadsden, USA	Fuego	Gasolina	4	3
1977	Cartagena, Colombia	Sobrepresión	Amoníaco	7	30
22-2-1978	Waverly, USA	Descarrilamiento	Propano	45	12
11-7-1978	Els Alfacs, España	Dilatación/sobrepresión	Propileno	23,6	216
30-5-1978	Texas City, USA	Fuego	Butano	1500	7
30-8-1979	Good Hope, USA	Colisión de barcos	Butano	120	12
1-8-1981	Montonas, México	Descarrilamiento	Cloro	110	29
19-1-1982	Spencer, USA	Sobrecalentamiento	Agua	0,3	7
11-12-1982	Taft, USA	Reacción fuera de control	Acroleína	250	0
12-7-1983	Reserve, USA	Reacción fuera de control	Clorobutadieno	1	3
4-10-1983	Houston, USA	Rebosamiento	Bromuro de metilo	28	2
19-11-1984	Ciudad de México	Fuego	Propano	3000	503
28-1-1986	Kennedy S C, USA	Fuego	Hidrógeno	115	7

Fuente: "Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales"
Año: 2001

Los accidentes con consecuencias mas graves de ésta lista son: el ocurrido en Ciudad de México (San Juan de Ixhuatepec) en 1984, en donde se presentaron varias explosiones tipo BLEVE en una planta de GLP, con un aproximado de 3000 toneladas de gas propano que ocasionó la muerte de 503 personas; el siguiente en la lista es el producido en Els Alfacs, España en 1978 causado por dilatación y sobrepresión en un recipiente que contenía 23.6 toneladas de propileno ocasionando 216 muertes; y el ocurrido en Ludwigshafen, Alemania, que en 1948 ocasionó la muerte de 209 personas por una BLEVE originada por un rebosamiento de 33 toneladas de éter etílico.

De los 50 casos de BLEVE mencionados 37 se originaron en Norteamérica (34 en los Estados Unidos), 11 en Europa (4 en Alemania y 3 en Francia), y 2 en Sudamérica (Brasil y Colombia). Mientras que los productos involucrados participan de la siguiente manera:

Para resumir la tabla anterior se presenta el Cuadro N° 1, en donde se mencionan la cantidad de accidentes por producto involucrado. La mayor cantidad de accidentes corresponde al propano, con un 28% del total, se representa gráficamente en el Grafico N° 2.

Cuadro N° 1: “Cantidad de Accidentes tipo Blevé por Producto”

Producto	Nº de Accidentes	Porcentaje
Propano	14	28
Cloro	7	14
Amoniaco	5	10
Butano	4	8
Acroleína	2	4
Cloruro de vinilo	2	4
Dióxido de carbono	2	4
Gasolina	2	4

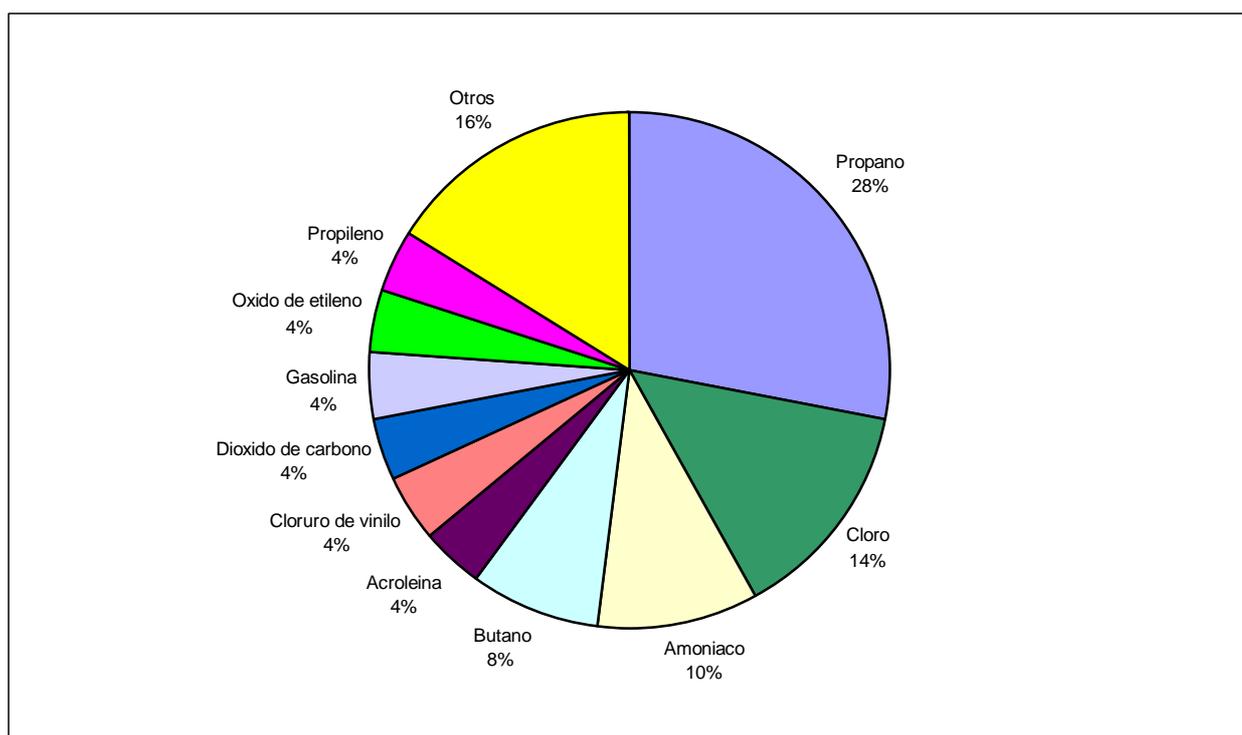
Continua en la siguiente página ...

... viene de la página anterior

Producto	Nº de Accidentes	Porcentaje
Oxido de etileno	2	4
Propileno	2	4
Otros	8	16
TOTAL	50	100

Fuente: Propia
Año: 2004

Grafico N° 2: “Porcentaje de Blevos por Producto”



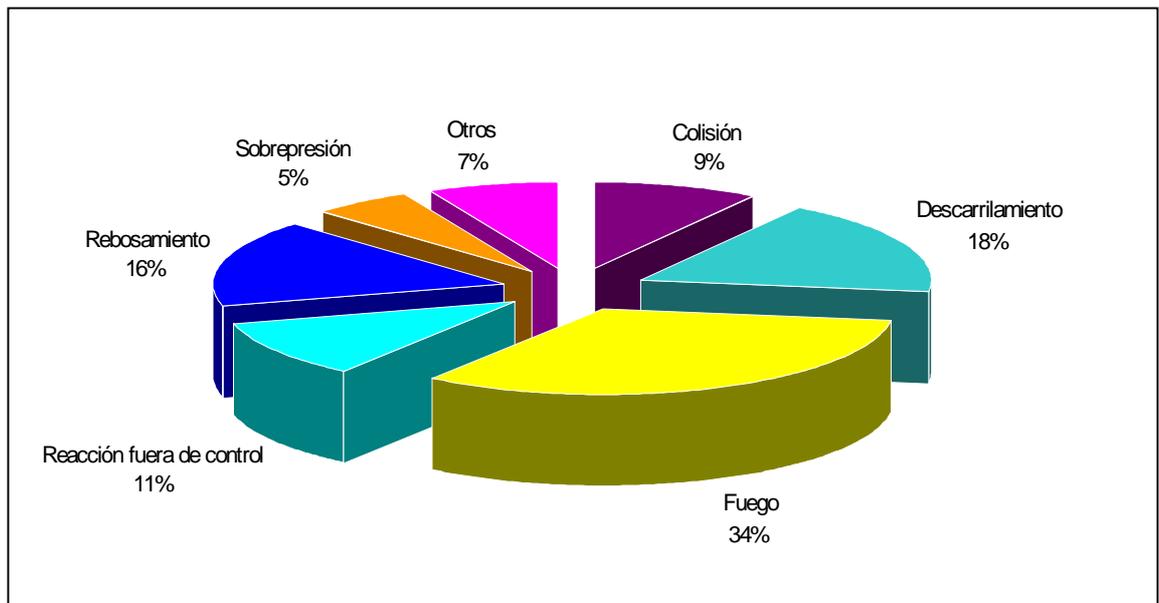
Fuente: Propia
Año: 2004

En el siguiente cuadro N° 2 se aprecian las causas mas frecuentes en accidentes tipo BLEVE, siendo la principal causa la presencia de fuego; además se puede visualizar estas causas en el Grafico N° 3.

Cuadro N° 2: “Causas mas frecuentes en Accidentes tipo Blevé”

Causa	N° de eventos	Porcentaje (%)
Fuego	18	34
Descarrilamiento	10	18
Rebosamiento	9	16
Reacción fuera de control	6	11
Colisión	5	9
Sobrepresión	3	5
Otros	4	7

Fuente: Propia
Año: 2004

Grafico N° 3 “Causas de Accidentes Blevé”

Fuente: Propia
Año: 2004

En base a la información mostrada, podemos determinar la importancia de prevenir los accidentes industriales, en función a la gravedad que suelen tener sus consecuencias. Los accidentes han sido ocasionados por el Gas Licuado de Petróleo, o alguno de sus componentes principales (Propano, Butano) sobretodo cuando la cantidad de sustancia involucrada es mayor a 20 toneladas. Debe tenerse en cuenta que en la mayoría de los accidentes industriales con GLP han producido explosión de algún tipo, siendo estos tipos de eventos los que históricamente han ocasionado mayores daños.

CAPITULO IV :
DESCRIPCIÓN DE LAS
INSTALACIONES

4.1. Descripción del Entorno

La empresa en que se realiza este estudio se encuentra ubicada en la costa norte del Perú, en un terreno aledaño al litoral, cuenta con un muelle para carga y descarga de productos.

La población de las concentraciones urbanas cercanas alcanza un número aproximado de 240,000 habitantes. Estando colindante con una de ellas, manteniendo la primera casa una distancia aproximada de unos 100 metros del muro perimétrico de la empresa, unos 800 metros de los tanques de almacenamiento, y unos 1 800 metros del área de procesos.

Las condiciones climáticas de la zona son estables, ubicada a la orilla del mar, las características climatológicas mas importantes son las siguientes:

- Dirección del viento: la dirección preponderante del viento es de sur a norte durante todo el año,
- Velocidad del viento: su velocidad promedio oscila entre 11 y 16 nudos.
- Temperatura ambiental: la oscilación media anual de la temperatura está entre 23 a 27 °C, siendo las temperaturas extremas 32 °C máximo en verano y 18 °C mínimo en invierno;
- Humedad relativa: la humedad relativa promedio anual es de 75%.
- Se presentan precipitaciones durante los meses de febrero y marzo

La empresa materia de estudio y su entorno se representan gráficamente en el Anexo N° 1.

4.2. Descripción de la Empresa

La empresa se dedica al procesamiento de hidrocarburos, principalmente el Gas Licuado de Petróleo (GLP),

El personal que labora en la empresa esta dividido en: personal administrativo, y personal obrero. El personal administrativo trabaja de 7:00 a 16:00 hrs de lunes a sábado, mientras que el personal operativo trabaja de lunes a domingo en turnos rotativos de 8 horas, que pueden ser:

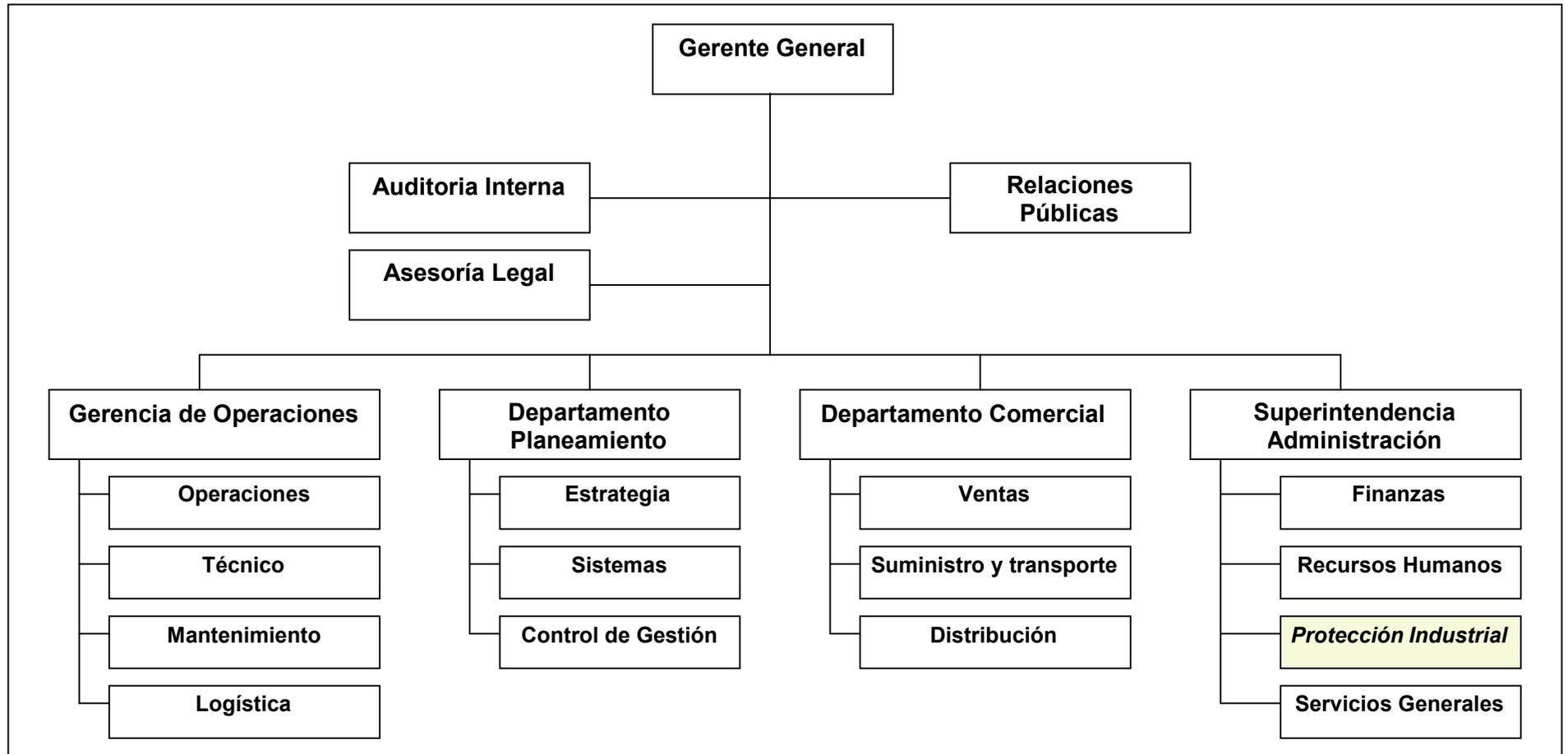
- Turno mañana : 7:00 a 15:00 hrs.
- Turno tarde : 15:00 a 23:00 hrs.
- Turno noche : 23:00 a 7:00 hrs.

El personal esté distribuido de la siguiente manera:

- Personal administrativo 62 Trabajadores
- Personal operativo 178 Trabajadores

A continuación en el grafico N° 4 se muestra el organigrama de la empresa.

Grafico N° 4: "Organigrama de la Empresa"



Fuente: Propia
Año : 2005

Del gráfico N° 4 puede observarse que la Unidad de Protección Industrial en el organigrama, se encuentra ubicada dependiendo de la Superintendencia de Administración, la cual depende de la Gerencia de General.

4.2.1. Unidad de Protección Industrial

La Unidad de Protección Industrial (UPIN) esta organizada en tres áreas, de la siguiente manera: Protección Contra Incendio, Seguridad e Higiene Industrial y Protección Industrial. (Ver grafico N° 5)

Toda la buena marcha de la unidad se basa en prevenir accidentes de trabajo y de ello depende que cada área trate de controlar y verificar las condiciones inseguras para corregirlas. En toda industria de hidrocarburos, la amenaza de incendio es muy grande, ya que los líquidos y gases combustibles incendiados son incontrolables por ser fluidos que tienen la acción de poderse expandir rápidamente, para ello deben verificarse las condiciones de riesgo potencial (Incendio y explosión)

Grafico N° 5 “Organización de la Unidad de Protección industrial”



Fuente: Propia

Año: 2004

Los Comités de Seguridad son creados en cada departamento o dependencia para fomentar las actividades de Seguridad en todas las áreas de la empresa para que el plan anual de actividades se cumpla de una manera más organizada y sistemática. Los comités de Seguridad están conformados por un presidente, un secretario y miembros, los cuales deberán ser los principales directivos del respectivo departamento o dependencia, estos deben programar el cronograma de actividades a realizarse cada mes y además incentivar a los trabajadores de su respectiva área a que participen activamente en estas actividades, como por ejemplo, dictar charlas de Seguridad de 5 minutos, elaborar afiches, preparar lemas de Seguridad, etc.

El programa de Seguridad integral que se aplica en la empresa puede ser descrito como un conjunto de metas específicas que son trazadas de acuerdo a una base estadística que tiene por objetivo el reducir - o en el mejor de los casos, eliminar - los casos que se presentan de accidentes, previniendo desastres y situaciones de emergencia.

Se ha establecido en la empresa un Manual Básico de Seguridad, el cual es distribuido y difundido en todas las áreas, en el que encuentran descritos los principios y las normas de Seguridad que se aplican dentro de la empresa, los principales objetivos de este manual son:

- Dar a conocer los principios de la Seguridad en el trabajo, tanto a empleados como a los supervisores y a jefes de los diferentes departamentos, para su cumplimiento y difusión por parte de estos.
- Concientizar a los trabajadores para lograr que obtengan la comprensión adecuada de la Seguridad, obteniendo como resultado que comprendan que el cumplimiento de las normas de Seguridad les proporciona un beneficio, y lo incluyan como

parte de su conducta.

- Establecer las funciones y las responsabilidades de cada dependencia, departamento y de cada persona en lo que respecta al desarrollo y puesta en práctica de los programas de Seguridad.

a. Protección Contra Incendios.- La prevención y el control de los incendios es la función principal del área, la cual se concreta mediante el desarrollo de adecuados programas de capacitación y entrenamiento del personal que lo conforma, la implementación con los equipos necesarios y otras actividades.

La Seguridad en la Prevención de incendios comprende el trabajo de una unidad de Contra incendios conformada por 20 trabajadores que se organizan en 3 turnos, formando cuatro guardias de 5 bomberos cada una, quienes se dedican a labores de mantenimiento de equipos contra incendios de todas las áreas, así como a la inspección y mantenimiento de los sistemas para la lucha contra incendios, realizan también labores de entrenamiento a las brigadas, prácticas constantemente para estar preparados para cualquier situación de emergencia así como también realizan supervisión constante a los trabajos críticos (en caliente) que por su naturaleza altamente riesgosa así lo requieran. Es decir, el trabajo del personal de Contra incendio puede dividirse en:

- **Programas de Prevención**, las cuales son dirigidas tanto personal propio como a los contratistas que trabajan en la empresa, enseñando las conductas seguras para realizar los trabajos, evitando que se produzcan incendios, y dándoles los conceptos básicos de lo que debe hacerse en caso de producirse un incendio.
- **Organización de Brigadas Contra incendios**, se ha organizado dos brigadas en el sector industrial: La brigada 1

conformada por el personal de Contra incendios y la brigada 2 conformada por personal de Operaciones.

- **DetECCIÓN y ALARMA**, procedimiento a seguir en caso de detectar presencia de fuego en el interior de las instalaciones de la empresa.
- **EXTINCIÓN**, conocer y practicar el método recomendado para el control y extinción de incendios y amagos de incendio.
- **INVESTIGACIÓN DE SINIESTROS**, es el estudio de los incendios ocurridos anteriormente en la Refinería y en cualquier parte del mundo con el fin de conocer y entender sus causas, para evitar que se repita o se produzca.

Objetivos de la Unidad Contra incendios:

- Prevenir los incendios y amagos de incendio
- Combatir al fuego cuando estos eventos se produzcan
- Capacitar a los trabajadores y a todas las personas para que todos sepan que hacer y que "no hacer " en caso de incendio
- Brindar Apoyo a Externos, en caso de incendios fuera de las instalaciones de la empresa, se brindara apoyo con los recursos mínimos necesarios, previa aprobación de la gerencia de la operación.

- b. Seguridad e Higiene Industrial.-** Esta área se encarga de la prevención de accidentes industriales y de tránsito para lo cual cuenta con un Programa Anual de Actividades de Seguridad que comprende: inspecciones de Seguridad, permisos de trabajo, cursos de entrenamiento, planes de Seguridad, control de contaminantes en aire y agua.

Para el control de los Accidentes Industriales y de Tránsito se elabora mensualmente un Informe Estadístico de Seguridad. Se cuenta con un Plan de Contingencias para Derrames de Hidrocarburos en el Mar. También se cuenta con un Plan de

Emergencias por Fuego y Desastres.

Las principales funciones de esta área se pueden resumir en las siguientes:

- Verificar condiciones de Riesgo en la instalación.
- Verificación de equipos de protección personal.
- Preparar reportes Diario / Semanal de Inspecciones y Estadísticas.
- Detectar y corregir las condiciones y actos inseguros.
- Tomar parte Activa de los Eventos de Seguridad e Higiene Industrial.
- Participar durante las paradas de planta.
- Cumplir con un programa de inspecciones programadas

c. Protección Industrial.- El área de protección industrial centra sus actividades en los siguientes aspectos:

- ***Protección Interna***, se refiere específicamente a los actos de mala fe que pudieran realizar personas vinculadas con la Empresa, como por ejemplo: robos, sabotaje, etc.
- ***Protección Externa***, se refiere a los atentados que pudieran ser ocasionados por personas ajenas a la labor de la Empresa.

En este sentido la responsabilidad de los supervisores es esencial, en difundir normas para el control de la Seguridad en la empresa. Los supervisores tendrán a su cargo la difusión y concientización a trabajadores en los aspectos de:

- Control de Accesos y de Personas.
- Disposiciones de Entrada y Salida de Material.
- Áreas críticas de acceso restringido.
- Respeto Dispositivos de Control Físico.
- Disposiciones de Tránsito.

Conocimiento y Cumplimiento de Consignas del Servicio de Vigilancia, cada puesto de vigilancia es controlado por los inspectores de la empresa para asegurarse del cumplimiento de sus labores.

4.2.2. Política de la Empresa

- A.** La Empresa considera que es de vital importancia el desarrollo de programas adecuados y efectivos de protección contra incendios.
- B.** En aquellas áreas que, por la naturaleza y/o magnitud de las instalaciones, constituyen riesgos considerables, la Empresa proporcionará los equipos y facilidades Contra Incendios necesarios para eliminar o minimizar los riesgos.
- C.** Las condiciones que constituyen causas de incendio o explosión deben ser eliminadas o reducidas por medio de las prácticas de Seguridad establecidas.
- D.** Proveer una adecuada organización Contra Incendios en cada dependencia.
- E.** Establecer programas de mantenimiento de los equipos y facilidades Contra Incendios en las diferentes dependencias.
- F.** Establecer programas de entrenamiento para los miembros de la organización Contra Incendios.

4.2.3. Proceso Productivo

La producción del Gas Licuado de Petróleo -GLP- se lleva a cabo a través de una serie de procesos fisicoquímicos y operaciones unitarias que serán descritas en de aquí en adelante. La materia prima es un subproducto del proceso de refinación del petróleo, denominado gasoleo liviano, el cual consiste en una mezcla de hidrocarburos, siendo los principales los compuestos livianos, tales como: propano, butano, heptano y octano.

Este gasoleo es tratado en un reactor, obteniendo como resultado una mezcla de propano, butano y gasolina. Los productos del reactor son luego separados en una torre de destilación donde los compuestos livianos se derivan hacia la Unidad de Recuperación de Gases.

La Unidad de Recuperación de Gases estabiliza la gasolina proveniente del reactor y fraccionando los vapores de tope de la fraccionadora en propano, butano y gas ácido. Este último es enviado al horno para ser quemado.

El gas recepcionado es comprimido mediante 2 compresoras (GC1 y GC2), luego en un acumulador (drum GV5) se separan las corrientes líquidas y de vapor, la primera es enviada a un despojador (GV8), mientras la segunda es derivada al absorvedor primario (GV6)

Todas las corrientes pasan por el enfriador y acumulador de alta presión (G-E3 y G-E5), con excepción de la gasolina inestabilizada. El gas del acumulador de alta presión pasa al fondo del absorvedor primario (GV6), al tope del cual ingresa la gasolina inestabilizada, donde se le extraen prácticamente todos los butanos y la mayor parte de los propanos.

El condensado del acumulador de alta (GV5) es enviado al agotador (GV8), cuyos vapores regresan al condensador y al acumulador de alta y pasan nuevamente al fondo del absorvedor primario.

Por el tope del absorvedor primario salen gases hacia el absorvedor de esponja GV7 de donde se extrae el gas ácido. Posteriormente mediante el uso de varias torres (GV9, GV11, GV12, GV13, GV14 y GV15) se logra obtener el propano y el

butano.

Equipos de la unidad de producción

La unidad de producción cuenta con los siguientes equipos:

- Drum de succión de gas de la UDP (GV1)
- Drum de succión de gas combinado (GV2)
- Recibidor inter-etapas (GV3)
- Recibidor de alta presión (GV5)
- Absorvedor primario (GV6)
- Absorvedor de esponja (GV7)
- Esponjador (GV8)
- Debutanizador (GV9)
- Recibidor de depropanizadora (GV10)
- Drum de lavado cáustico (GV11 – GV12)
- Drum de lavado con agua (GV13)
- Separador propano – butano (GV14)
- Recibidor del separador (GV15)
- Compresores de gas UDP (GC1 A/B)
- Turbo compresor (GC2)
- Enfriador gas UDP (GE1)
- Enfriador Inter-etapa (GE2)
- Enfriador de alta presión (GE3 A/B)
- Intercambiador del absorvedor primario (GE4)
- Precalentador de carga al despojador (GE5)
- Precalentador de fondos del despojador (GE6)
- Calderetas del despojador (GE7 A/B)
- Precalentador de carga a depropanizadora (GE8)
- Enfriador de aceite rico (GE9)
- Condensadores tope debutanizadora (GE10 ABCD)
- Reboiler de debutanizadora (GE11 A/B)
- Enfriador de fondos debutanizadora (GE12)
- Condensador tope depropanizadora (GE13)

- Reboiler depropanizadora (GE14)
- Enfriador fondos depropanizadora (GE15)

Área de almacenamiento

En el área de tanques de almacenamiento, se cuenta con 4 esferas, una de 5000, una de 10000, y dos de 20000 barriles de capacidad respectivamente, haciendo un total de 55000 barriles de GLP; estos se encuentran en una zona alejada aproximadamente unos 500 metros del área de producción, siendo el transporte del propano y del butano por líneas separadas que van paralelas hasta la casa de bombas en que son dosificados (mezcladas) y bombeadas a los tanques esféricos. frente a los tanques esféricos se encuentra el manifold que acciona el sistema de agua contra incendios de los tanques esféricos, y junto a éste último se encuentra en sistema electrónico que acciona los sistemas automáticos de extinción de incendios para casos de emergencias que es un auxiliar (alternativo) del manifold.

Muelle de Carga y Descarga

El muelle o amarradero principal cuyas instalaciones permitirán un estibamiento seguro de los productos a los buques tanque, así como para la descarga de la materia prima. El muelle consta de:

- Plataforma de carga y descarga líquida.
- Sala de control
- Plataforma para hidratante y cañones mixtos
- Duque de alba
- Postes de amarre
- Caseta de bombeo y control de agua contaminada

4.2.4. Descripción de la Red Contra Incendios

La red Contra Incendio de la Empresa cuenta con 10 Hidrantes y 20 Monitores (monitores-hidrantes) de agua y espuma distribuidos estratégicamente en toda el área operativa de la empresa. Esta Red Contra Incendio es abastecida por 01 autobomba y 01 electrobomba su arranque es automático y secuencial por caída de presión y sus capacidades son de 3000 gpm a 150 psi y 01 bomba jockey de 250 gpm a 150 psi, en su diseño y construcción se ha realizado cumpliendo además con las normas de la NATIONAL FIRE PROTECTION ASSOCIATION (NFPA), cuenta con aproximadamente con 15 Km. de longitud de tuberías de fierro fundido, en forma de anillos cuyos diámetros varían entre Ø 4" y 16".

La fuente principal de abastecimiento es el agua de mar y tiene como primera fuente alternativa el sistema de agua potable proveniente de la ciudad y como segunda fuente alternativa cuenta con una conexión de 12" al sistema de enfriamiento de agua salada para las unidades de procesos.

El área para almacenamiento de GLP cuenta con una línea adicional de 16" conectada directamente desde las bombas contra incendios al manifold de agua de los tanques de GLP y otra línea de 12" con el sistema de agua potable, y su funcionamiento es con válvulas de apertura automática y manual.

Sistema Contra Incendios Muelle de Carga y Descarga

El sistema contra incendios formado por los siguientes equipos:

- 02 boquillas PC-110 de agua / espuma a control remoto, montado sobre torres de 18 m., sus chorros cubren el total de la cubierta del mayor buque que puede recibir este muelle.

- 01 tanque para espuma contra incendios de 4500 gal.
- 01 motobomba y 01 electrobomba para espuma
- Subsistema de espuma con descarga libre para proteger la parte baja de la plataforma
- Subsistema de espuma para proteger los brazos de carga.
- Aspersores: 16 en el viaducto, en cada torre de los monitores a control remoto y 04 Aspersores para proteger los brazos de carga.
- 04 hidrantes: 02 en la plataforma y 02 en el viaducto.
- 04 monitores agua / espuma: 02 en la plataforma y 02 en el viaducto.

El sistema Contra Incendios en el Area de Tanques se presenta gráficamente en el Anexo N° 3.

Vehículos Contra Incendios

La Empresa cuenta con los siguientes vehículos contra incendios:

- 2 Autobombas agua /espuma de 1500 gpm a 150 psi.
- 1 Autobomba agua /espuma de 1500 gpm a 150 psi - Escalera Telescópica
- 1 Autobomba agua de 300 gal de 300 gpm a 150 psi.
- 1 Autobomba agua /espuma de 1000 gpm. a 150 psi - con Servocomando
- 1 Cisterna con bomba para Espuma Contra incendios de 3000 gals
- 2 Cisternas para agua de 3000 y 6000 gals

4.2.5. Otras Facilidades

Todas las áreas cuentan con equipos de protección Contra incendios existiendo un total de 57 extintores portátiles. se tienen extintores de Polvo Químico Seco ABC de 9, 12, 70 y 150 Kg, de

CO₂ de 15 y 25 lb, y de Agua presurizada de 10 Lt, distribuidos estratégicamente por todas las áreas. Sin tener en cuenta los extintores ubicados dentro de los vehículos y unidades móviles, la distribución de los extintores es la siguiente, tal como se muestra en el cuadro N° 3:

Cuadro N° 3: "Distribución de Extintores"

Área	N° de Extintores
Área de proceso	10
Taller de mantenimiento	06
Tanques de GLP	05
Muelle de carga y descarga	07
Oficinas y áreas administrativas	14
Estación contra incendios	15

Fuente: Propia
Año: 2004

En el área de almacenamiento, la caseta de bombas y los tanques cuentan con rociadores. Mas específicamente, los tanques esféricos cuentan con rociador de tope, anillo rociador en el diámetro y un anillo rociador de fondo. En el muelle de carga y descarga se cuenta con rociadores en el viaducto y torres. En el taller de mantenimiento se cuenta con extintores y con gabinetes contra incendio (02) equipados con mangueras de \varnothing 1 ½" de diámetro.

El Sistema Contra Incendio en el Área de Proceso se puede apreciar gráficamente en el Anexo N° 2.

CAPÍTULO V :
ANÁLISIS DE RIESGOS

5.1. Identificación cualitativa de cada suceso y de sus consecuencias posibles

Se utilizan árboles de sucesos que nos indican el desarrollo de los accidentes en secuencia de eventos que nos conducen a los diferentes escenarios, tales como incendios, explosiones, deflagraciones, etc., estos diagramas lógicos nos permiten identificar los posibles consecuencias a partir de un evento inicial, en forma cualitativa.

Inicialmente se considera que todo accidente del tipo incendio y/o explosión se inicia con una fuga accidental de material inflamable, en este caso el GLP, entonces se considerará como evento inicial: una fuga de producto, el tipo de evento que se desarrolle y la posible magnitud del mismo dependerán, entre otras cosas, del punto en que se origine el evento inicial, es decir, la fuga de gas.

En este sentido es posible que se produzcan fugas en:

- El área de producción,
- El área de almacenamiento,
- El muelle de carga y descarga, y
- Las líneas (tuberías) de transporte del gas.

Será necesario entonces, realizar el estudio de los posibles casos para cada una de estas áreas.

5.2. Probabilidad de ocurrencia

Para determinar la frecuencia de los accidentes se establecieron primero las distintas probabilidades de evolución de las hipótesis accidentales, mediante la aplicación de árboles de sucesos, en base a los datos de frecuencia de ocurrencia de cada posible evolución obtenidos en el análisis histórico utilizado en la parte de identificación del riesgo.

Así, por ejemplo, la probabilidad de que un derrame de un determinado

líquido inflamable forme un charco que se incendie o evolucione formando una nube que posteriormente explota o provoque una llamarada o se disperse sin más consecuencias, depende de cada sustancia y de las condiciones en las que se encuentra. Mediante los árboles de sucesos, se determinaron para cada hipótesis estas probabilidades de evolución.

Una vez determinadas estas probabilidades se clasificaron los sucesos accidentales básicos en cuatro grandes categorías:

- Rotura de líneas (tuberías)
- Rotura de equipos por sobrepresión
- Sobrellenado de tanques
- Rotura de mangueras de descarga

Al ser sucesos básicos se procedió a evaluar directamente su frecuencia consultando las bases de datos históricos. De esta forma se establece para cada hipótesis su frecuencia probable de accidente final expresada en ocasiones/año, a partir del producto de las frecuencias de los sucesos iniciadores obtenidas por la probabilidad del suceso final resultante de los árboles de sucesos, en tantos por ciento.

Así, para una hipótesis de rotura parcial en tuberías de 6 y 8" de diámetro para un líquido o gas licuado inflamable, se encuentran los siguientes datos:

- En la fuente bibliográfica consultada, se encuentra el valor de tasa de este tipo de roturas para tuberías entre 6" y 8" es de 3×10^{-11} (ocurrencias/metro de tubería x horas de funcionamiento año).
- Las tuberías en cuestión tienen una longitud total de 3400 metros (3.4 Km).
- Se considera un total de 8 760 horas de funcionamiento al año (24 horas x 365 días).

Con estos datos, la frecuencia del suceso iniciador en ocasiones año, se calcula:

$$F = 3 \times 10^{-11} \times 3400 \times 8\,760 = 893.5 \times 10^{-6} \text{ ocasiones / año.}$$

Por otro lado, de la aplicación del árbol de sucesos (Gráfico N°6) a las posibles evoluciones del supuesto, partiendo de una fuga en una tubería como evento inicial, resultan los siguientes datos:

- Probabilidad de que se produzca una emisión puntual	56.25%
- Probabilidad de que se produzca una emisión continua	6.25%
- Probabilidad de que se produzca un fuego de dardo	23.44%
- Probabilidad de que se produzca el efecto BLEVE	4.68%
- Probabilidad de que se produzca una UVCE	3.13%
- Probabilidad de que se produzca un fuego de charco	6.25%

Las frecuencias de accidentes finales resultantes, con estos datos son:

$$F \text{ emisión puntual} = 893.5 \times 10^{-6} \times 0.5625 = 5.03 \times 10^{-4} \text{ ocasiones / año}$$

$$F \text{ emisión continua} = 893.5 \times 10^{-6} \times 0.0625 = 5.58 \times 10^{-5} \text{ ocasiones / año}$$

$$F \text{ fuego de dardo} = 893.5 \times 10^{-6} \times 0.2344 = 2.09 \times 10^{-4} \text{ ocasiones / año}$$

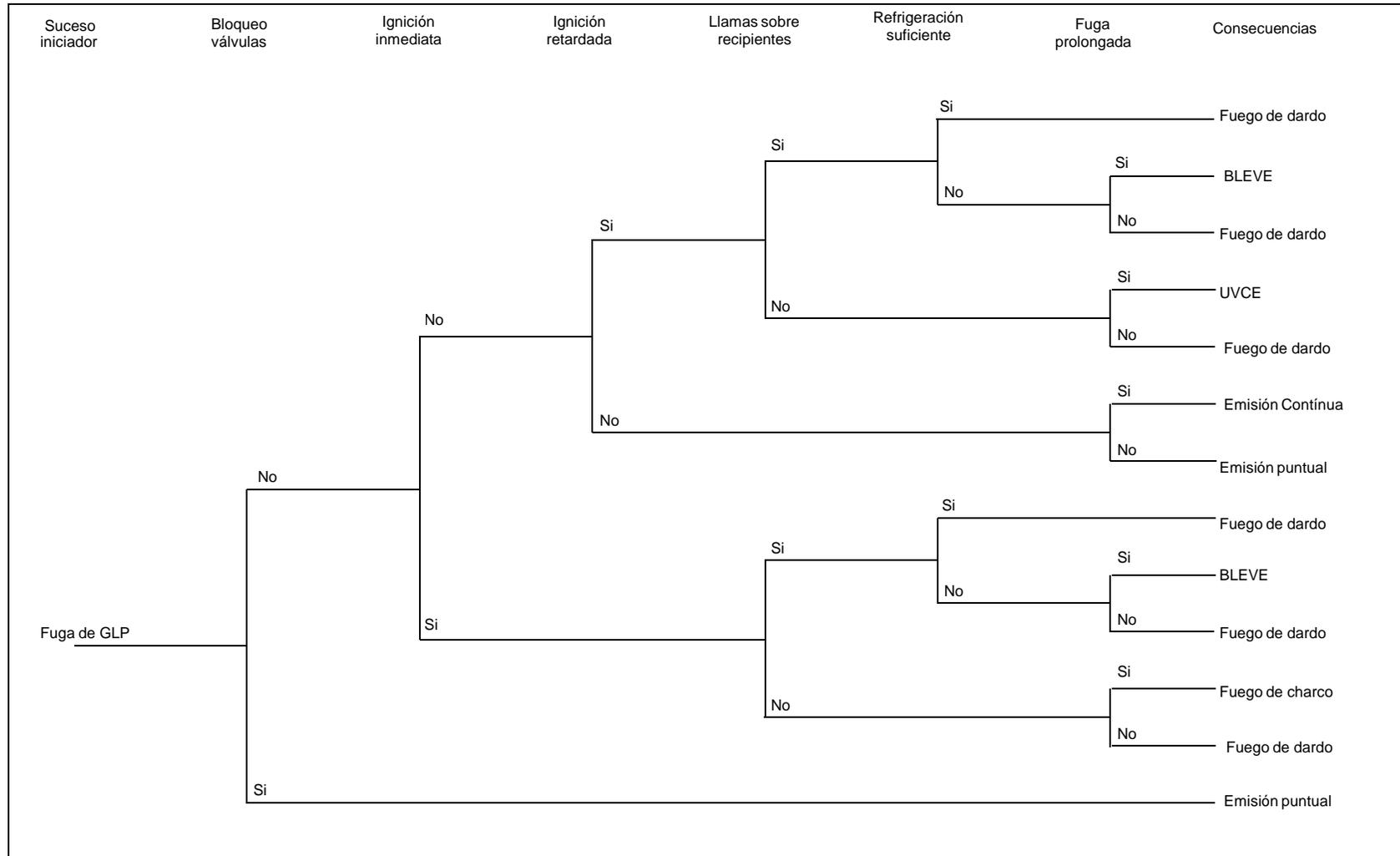
$$F \text{ bleve} = 893.5 \times 10^{-6} \times 0.0468 = 4.19 \times 10^{-5} \text{ ocasiones / año}$$

$$F \text{ uvce} = 893.5 \times 10^{-6} \times 0.0313 = 2.76 \times 10^{-5} \text{ ocasiones / año}$$

$$F \text{ fuego de charco} = 893.5 \times 10^{-6} \times 0.0625 = 5.58 \times 10^{-5} \text{ ocasiones / año}$$

Concurrencia de sucesos: Se debe tener en cuenta la posibilidad de que los fallos descritos anteriormente ocurran simultáneamente, elevando la probabilidad de ocurrencia de los eventos, dependiendo de la secuencia que se tenga en los sucesos, es posible que un fuego de dardo sea el evento originador de una BLEVE, o que una emisión continua de gas de inicio a una UVCE. Para obtener la probabilidad de la ocurrencia de estos eventos sucesivos se deberá multiplicar las probabilidades de los eventos separados, para sumarlo a la probabilidad del evento final (BLEVE o UVCE); estos resultados son muy pequeños como para afectar de manera significativa los valores obtenidos.

Gráfico N° 6 : "Arbol de Sucesos"



Fuente: Propia
Año: 2004

5.3. Severidad del impacto

Se debe analizar los efectos de cada tipo de evento posible, en términos de gravedad de consecuencias, para lo cual se está considerando el uso de algunos modelos matemáticos y métodos que permiten estimar el alcance de los daños que pueden producirse por efectos de los accidentes industriales tipos, algunas de la metodologías son modelos teóricos, mientras otros son aproximaciones basadas en datos experimentales, ajustando los resultados a modelos matemáticos.

Las metodologías empleadas para el cálculo de la severidad de los impactos de los posibles escenarios a presentarse son las que se detallan en el siguiente cuadro N° 4:

Cuadro N° 4: “Metodología de evaluación por tipo de evento”

Tipo de Evento	Metodología
Dispersión de Gas	Modelo Pasquill
Fuego de Charco	Modelo Hajek
Fuego de Dardo	Método de Kalghatgi
BLEVE	Método de Hasegawa y Sato
Detonación no confinada	Método del TNT equivalente

Fuente: Propia

Año: 2004

5.3.1. Dispersión de Gas

Modelo Pasquill

El modelo Pasquill permite determinar la concentración de una sustancia química cualquiera en un punto de coordenadas (x, y, z) referido al punto de emisión, situado este último a una altura h, situando el eje x en la dirección del viento; esto nos va a permitir

conocer el punto donde la concentración del gas está por debajo del límite inferior de inflamabilidad, por consiguiente hallar la distancia máxima a la que se puede producir la ignición en la dispersión de una fuga de gas, y de esta manera determinar el tamaño máximo de la nube inflamable y por consiguiente el tamaño de la llamarada o bola de fuego.

El modelo Pasquill está definido por la siguiente fórmula:

$$C_{(x,y,z,h)} = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-1/2(y/\sigma_y)^2} \left[e^{-1/2((z-h)/\sigma_z)^2} + e^{-1/2((z+h)/\sigma_z)^2} \right]$$

Donde:

$C_{(x,y,z,h)}$: Concentración en el punto analizado, de coordenadas x (horizontal en la dirección del viento); y (horizontal y transversal a la dirección del viento); z (vertical); medidas con referencia al punto de proyección del punto de emisión; éste situado a una altura h sobre dicho punto de proyección.

h : Altura del punto de emisión sobre el punto de referencia

Q : Caudal del contaminante emitido y considerado

u : Velocidad del viento en el punto de emisión

σ_y : Coeficiente de difusión en la dirección y ; o desviación típica de la distribución horizontal y transversal de concentraciones con respecto a la línea central de la emisión.

σ_z : Coeficiente de difusión en la dirección z ; o desviación típica de la distribución vertical y transversal e concentraciones con respecto a la línea central de la emisión.

e : Base de los logaritmos naturales (2.718281)

$$\sigma_y = ax^p$$

$$\sigma_z = bx^q$$

Los valores de a, b, p, q dependen de el nivel de estabilidad, se obtienen de tablas

Para obtener el mayor alcance a nivel del suelo se considera la distancia en la dirección del viento.

Reemplazando en la fórmula, se tiene:

$$C_{(x,0,0,h)} = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} e^{-1/2(h/\sigma_z)^2}$$

Estas ecuaciones nos permiten calcular la concentración para emisiones continuas. Tiene una variación para emisiones (escapes) instantáneos, la expresión para estos casos es como sigue:

$$C_{(x,y,z,t)} = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-[(x-ut)^2 y^2 / 4\sigma_x^2 \sigma_y^2]} \left[e^{-1/2((z-h)/\sigma_z)^2} + e^{-1/2((z+h)/\sigma_z)^2} \right]$$

Donde:

t : Es el tiempo de duración de la emisión

σ_x : Desviación típica sobre el eje x, tal que $\sigma_x = 0.13x$

Las demás variables son las mismas descritas en la ecuación anterior

En esta ecuación los valores de σ_y , debe ser afectados por un factor de corrección:

$$\sigma_y = [t/600]^{0.2} ax^p$$

Para tener una idea del orden de la magnitud del alcance máximo de un escape discontinuo se considera, al igual que en el caso anterior, el punto x en la dirección del viento al nivel del suelo, para

lo cual aparece la expresión siguiente:

$$C_{(x,0,0,x/u)} = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} (0.13)(0.5)abx^{(1+p+q)}}$$

El modelo de Pasquill requiere el uso de unas constantes meteorológicas de estabilidad, que dependen principalmente del gradiente térmico vertical que presenta la zona en forma mas preponderante, en este caso los valores corresponden a los de Clase de Estabilidad “D” que es denominada “Neutra”.

En este análisis se toma en cuenta dos casos:

- Si se produce una emisión puntual; se considera el tiempo que tarda el frente de avance del gas hasta llegar a un punto ubicado a una distancia determinada.
- Si se produce una emisión continua; se considera que la emisión se ha producido por un periodo relativamente prolongado de tiempo, o se produce en forma constante, con un caudal determinado, como es en el caso de algunas chimeneas.

De esta manera tenemos las distancias máximas a que puede producirse una mezcla de gas-aire suficiente para que se forme una atmósfera inflamable, teniendo en cuenta como concentración mínima al límite inferior de inflamabilidad de la sustancia.

El punto donde se desea calcular la concentración es a favor del viento y a nivel del suelo.

Otras variables que se toman en cuenta para el cálculo, tales como:

- La velocidad preponderante del viento : 6.9 m/seg

- La altura del punto de emisión: la cual por tratarse de un sistema compuesto de varias partes, se considerarán cuatro casos, 0.1m (fugas en tuberías a nivel de suelo), a 2 m (base de las esferas), 5m (altura media de un tanque de almacenamiento esférico) y 19 m (altura de la esfera de mayor diámetro)
- Se considera un caudal de emisión de 5 $\mu\text{g}/\text{seg}$ (9.434 mm^3/seg), tomando como base una abertura 2" de diámetro

En el cuadro N° 5: se observa los resultados de la aplicación de la ecuación de Pasquill para determinar la distancia máxima a la que puede llegar el gas en caso de producirse una fuga, teniendo en cuenta la altura del punto de emisión, y considerando como un factor de corrección el límite de inferior de inflamabilidad.

Cuadro N° 5: "Alcance máximo de atmósfera inflamable (m)"

Altura del punto de emisión (m)	Emisión puntual	Emisión continua
0.1	44	112
2	40	108
5	No produce atmósfera inflamable	78
19	No produce atmósfera inflamable	No produce atmósfera inflamable

Fuente : Propia

Año: 2004

Se considera el mayor alcance posible teniendo en cuenta que esta distancia calculada es en la dirección del viento, es decir la mas desfavorable, debe considerarse que el comportamiento a lo largo del eje transversal a la dirección del viento disminuye la concentración en forma bastante significativa.

Los resultados del análisis de los mismos datos, pero considerando la concentración gas-aire resultante a un metro del suelo no muestra cambios relevantes, es decir se mantienen los resultados obtenidos a nivel del suelo, con una variación menor de 1 metro.

Se puede concluir entonces que una fuga de gas producida a una altura mayor, con estas condiciones meteorológicas, es dispersada más fácilmente por el viento, de tal manera que a mayor altura del punto de emisión al nivel del suelo la mezcla de gas-aire que se encuentre dentro del rango de los límites de inflamabilidad.

Mientras que la emisión puntual de gases tiene una dispersión más rápida, lo cual permite que la concentración sea menor a lo largo del área expuesta.

Se puede determinar que son más peligrosas las fugas que se producen en forma continua, considerando como tales a las que tienen una duración prolongada (>10 min) y las que se producen más cerca al nivel del suelo, por tratarse de un gas más pesado que el aire y debido a las condiciones meteorológicas de la zona, que da como resultado una mayor área de riesgo.

5.3.2. Fuego de Charco

Otro de los eventos que pueden presentarse, es el denominado "fuego de charco", el cual se caracteriza por en que se produce una llama como producto de la ignición de un charco de combustible, el cual generalmente es producido por un derrame de un tanque de almacenamiento, teniendo como consecuencia un incendio que abarcaría un área bastante importante; en el caso de un derrame en un tanque de almacenamiento, el área que abarca el charco y que se considera para todo cálculo es el área dentro del muro de contención que se coloca alrededor de cada tanque, para evitar

que se dispersen posibles derrames.

Para el cálculo del calor recibido desde una llama de este tipo (o cualquier llama en general), se puede utilizar la ecuación de Hajek, la cual se describe a continuación.

Modelo Hajek

Esta determinado por la siguiente ecuación:

$$q_r = 0.0796 \frac{\phi m \Delta H_c}{d^2}$$

De donde:

q_r : Flujo de calor radiante recibido a distancia d desde el centro de la llama (BTU/hr pie²)

ϕ : Fracción del calor emitido que se convierte en radiación (tanto por 1). Valor aproximado para el GLP = 0.29

ΔH_c : Calor de combustión de los gases o vapores incendiados (BTU/lb)

m : Caudal másico de gases o vapores quemados (lb/hr)

d : Distancia desde el punto central de la llama hasta el punto considerado (pies)

En aplicación de nuestro caso se consideran varios escenarios posibles, para lo cual se tiene en cuenta que el calor de combustión del GLP es de 19800 BTU/lb, que la fracción de calor emitido que se convierte en radiación es 0.29 (correspondiente al GLP), se realiza el cálculo para los caudales másicos de 10150, 12150, 14150, 16150 y 18150 lb/hr. Obteniendo los siguientes resultados mostrados en el cuadro N° 6:

Cuadro N° 6:
“Calor radiante recibido desde un fuego de charco (Kw/m²)”

Distancia al centro de la llama en pies (metros)	Caudal másico del gas (lb/hr)				
	10150	12150	14150	16150	18150
150 (45.72)	0.65	0.78	0.91	1.03	1.16
120 (36.58)	1.02	1.22	1.42	1.62	1.82
90 (27.43)	1.81	2.16	2.52	2.87	3.23
60 (18.29)	4.06	4.87	5.67	6.47	7.27
30 (9.14)	16.26	19.46	22.67	25.87	29.08

Fuente: Propia

Año: 2004

De estos datos podemos determinar las distancias de seguridad que se deben mantener.

Los daños que ocasiona la radiación térmica de un incendio, han sido determinados experimentalmente de la siguiente manera en el siguiente cuadro N° 7:

Cuadro N° 7: “Efectos de la radiación térmica sobre personas, materiales y estructuras“

Flujo de radiación térmica (Kw/m ²)	Tiempo máximo de exposición para personas (seg)	Efectos sobre personas a mayor tiempo de exposición. Otros efectos sobre materiales y estructuras
1.2	-	Recibida del sol de verano a mediodía.
1.4	Infinito	Nivel de intensidad de radiación térmica que se considera totalmente seguro para personas sin protecciones especiales.
1.6	-	Umbral de sensación dolorosa.
2.1	60	Dolor.
4.0	30	Aparición de ampollas en la piel no protegida.
4.7	15-20 30	Dolor. Quemaduras de primer grado. Deshidratación de la madera.
9.5	6	Descomposición de la madera.
12.6	4	Ignición de la madera. Fusión de los recubrimientos plásticos de cables eléctricos.
23.0	-	Estructuras ligeras, tanques de almacenamiento y otros elementos de equipo ligeros y no protegidos pueden fallar.
37.8	-	Pérdida de resistencia del acero no protegido y colapso de estructuras no ligeras.

Fuente: Manual de Seguridad en Plantas Químicas y Petroquímicas. Fundamentos, Evaluación de Riesgos y Diseño
Año: 1998

Realizando la comparación con este cuadro, se puede determinar las distancias a las que se produce los niveles de radiación críticos, tanto por los efectos sobre las personas como sobre materiales y estructuras, se consideran entonces a los límites umbrales a los valores de 4 y 12.6 Kw/m², respectivamente, y considerando además el nivel de radiación en que se produce el colapso de las estructuras (37.8 Kw/m²), entonces se tiene que los resultados tal como se describen en el cuadro N° 8.

Cuadro N° 8:
“Distancia al centro del charco de fuego que recibe un nivel de radiación térmica crítico (m)”

Caudal másico del gas quemado (lb/hr)	Nivel de radiación térmica (Kw/m ²)		
	4	12.6	37.8
10150	18.4	10.4	6
12150	20.1	11.4	6.7
14150	21.7	12.3	7.1
16150	23.2	13.1	7.6
18150	24.5	13.9	8.0

Fuente: Propia

Año: 2004

Tenemos las distancias de seguridad que se debe mantener en caso de incendio, de todas estas se considerará la mayor para obtener un mejor criterio preventivo, es decir, las correspondientes a 18150 lb/hr, que es el escenario mas grave.

Lo que quiere decir que considerando un flujo de 18150 lb/hr a una distancia de 24.5 metros se recibirá un nivel de radiación térmica de 4 Kw/m², produciendo ampollas en la piel de las personas expuestas a esta distancia; a una distancia de 13.9 metros se

producirá la ignición de la madera y fusión de recubrimientos plásticos de cables eléctricos (cortos circuitos), y en un radio de 8 metros se producirá el colapso de estructuras.

5.3.3.Fuego de Dardo

Este tipo de incendio se caracteriza porque se produce por la ignición de una fuga de un fluido inflamable de un recipiente a presión, sea este un recipiente estacionario (tal como un tanque de almacenamiento) o una tubería por donde fluye el producto.

Método de Kalghatgi

Para calcular los efectos que puede ocasionar en términos de radiación térmica de un fuego de dardo, se utiliza una metodología matemática que nos permite, en un primer momento, determinar la geometría de la llama, es decir nos permite calcular con un cierto nivel de aproximación la forma que tendrá el dardo que se forma debido a la ignición de la fuga, para luego valerse de estos datos para calcular la radiación térmica que emite dicho dardo. Se tiene como complemento para el cálculo de la radiación térmica, el modelo del cuerpo sólido.

El método de Kalghatgi, requiere el uso de una serie de fórmulas para el dimensionamiento de la llamarada, en las cuales se consideran variables tales como: la velocidad del viento, el diámetro del orificio de salida, la temperatura del combustible antes del vertido, la presión atmosférica, la presión a la que se encuentra el fluido en el recipiente o tubería, la densidad del aire, la masa molecular del combustible, el caudal del gas emitido; también se requieren calcular algunos otros factores tales como: el ángulo de inclinación de la llama, la fracción de energía liberada como radiación, altura de la llama, altura del dardo, densidad del combustible en el dardo, velocidad de salida del combustible en el chorro, etc.

Se considera para este cálculo los siguientes datos:

- Velocidad del viento: 6.9 m/seg.
- Presión atmosférica: 1 atm. (Nivel del mar)
- Temperatura del combustible antes del vertido: 298 °K.
- Presión del gas antes del escape: 200 y 220 psi.
- Densidad del aire en el ambiente: 29 Kg/m³.
- ΔH_c : 32.231 KJ/gr.
- Caudal de gas emitido: 420 gr/seg.

Al reemplazar estos datos en las formulas, para los casos de tuberías a 200 psi y a 220 psi, y para los tanques de almacenamiento a 150 psi, obtenemos los resultados siguientes (Ver cuadro N° 9), para orificios de salida del gas de 2, 3, 4 y 5 cm. de diámetro:

Cuadro N° 9:

“Distancias a las que se recibe los niveles de radiación críticos de fuego de dardo (metros)”

Presión en el interior de la tubería y/o recipiente (psi)	Nivel de radiación térmica crítica (Kw/m ²)	Diámetro del orificio de salida del gas (cm)			
		2	3	4	5
150	4	114	50	28	18
	12.6	36	16	9	5.8
	37.8	12	5.4	3	1.9
200	4	117	52	29	18.5
	12.6	37	16.5	9.3	6
	37.8	12.4	5.5	3.1	2
220	4	118	52.5	29.5	18.9
	12.6	37.5	16.6	9.4	6
	37.8	12.5	5.6	3.1	2

Fuente: Propia
Año: 2004

Como consecuencia del análisis de los resultados mostrados en este cuadro se establece la distancia de mínima a la que no debe acercarse una persona en caso de ocurrir un caso de fuego de dardo en 37.5 metros, y la distancia a la que deben encontrarse los equipos electrónicos sería de 16.6 metros, y finalmente la distancia a la que no deben existir estructuras de proceso es de 5.6 metros. Todas estas distancias consideradas desde los tanque de almacenamiento y las tuberías que transportan el producto.

5.3.4. BLEVE

El fenómeno BLEVE, denominado así por sus siglas en inglés (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion = Explosión de Vapores en Expansión de Líquidos en Ebullición) consiste en la explosión mecánica de un recipiente por evaporación súbita y masiva (con aumento de volumen de unos cientos de veces) sobrecalentado (situación de equilibrio líquido-vapor metaestable) al sufrir una disminución brusca de su presión y dando lugar a una onda de sobrepresión muy potente, y en el caso de tratarse de un producto combustible, a la formación de una bola de fuego.

Si un recipiente conteniendo un líquido a presión es calentado, la presión en su interior ira en aumento, llegará un momento en el que las paredes no podrán resistir la elevada tensión a la a que están sometidas y cederán (esto suele ocurrir en la parte superior del recipiente, donde la pared al no estar bañada por el líquido no está refrigerada). La despresurización súbita del líquido hará que este se encuentre a una temperatura superior a la que le correspondería en la curva de saturación P-T para la nueva presión. El líquido que se encuentra en estas condiciones de inestabilidad se define como "líquido sobrecalentado". Si su temperatura en el momento de la despresurización es superior a una temperatura denominada "temperatura límite de sobrecalentamiento" se producirá una vaporización instantánea y brutal de una parte del mismo, que será

vertido al exterior en forma de mezcla bifásica líquido/vapor. El incremento del volumen que experimenta el propano al vaporizarse es de unas 250 veces, más la expansión del vapor preexistente, provocarán una onda de presión, así como la rotura del recipiente en varios pedazos que serán lanzados a una distancia considerable. Si la sustancia contenida en el recipiente es combustible la masa de líquido y vapor vertida en el momento de la explosión se incendiará, y dará lugar a una hoguera de forma aproximadamente hemisférica que se extenderá inicialmente a ras del suelo. No todo el combustible presente en el recipiente en el momento de la explosión forma parte de la hoguera. Una parte del mismo puede ser arrastrada por la estela formada por los fragmentos del depósito que salen disparados.

En el caso de San Juan de Ixhuatepec (Ciudad de México, 1984) se ha sugerido que parte del combustible habría sido proyectado hasta distancias considerables sin inflamarse, y posteriormente se incendió y provocó incendios y explosiones locales en las viviendas de los alrededores; este efecto, sin embargo, no ha sido observado en ningún otro accidente similar.

La masa de combustible que arde, lo hace inicialmente solo en su superficie, porque su interior, muy rico en combustible y prácticamente sin aire, se encuentra fuera de los límites de inflamabilidad, posteriormente la turbulencia del incendio provoca que vaya entrando aire dentro de la masa de combustible. Simultáneamente, la radiación procedente de la combustión va evaporando las gotas de líquido y calentando el conjunto. Como resultado de todo este proceso, la masa en ignición va aumentando su volumen de forma turbulenta, adquiriendo una forma más o menos esférica y va ascendiendo, dejando una estela de diámetro variable semejante en la forma a la de la típica "seta" de una explosión nuclear. Las dimensiones de las bolas de fuego formadas de este modo pueden ser extraordinariamente grandes, con

desprendimiento de radiación térmica fortísimo.

Es importante resaltar la imprevisibilidad que presenta el momento en el que se producirá la explosión. Hace algunos años, se consideraba que desde el comienzo de la emergencia (por ejemplo, desde el inicio de un incendio que afectaba a un depósito) se requería de un tiempo determinado para que se produjera la explosión. Se creía, por tanto, que se tenía la oportunidad de tomar determinadas medidas (Ej. que los bomberos refrigerasen los recipientes con mangueras). No obstante, a medida que se ha ido recopilando información sobre los BLEVE, se ha visto que este tiempo puede ser extraordinariamente corto; en el accidente de San Juan de Ixhuatepec el tiempo transcurrido entre la primera explosión, que originó distintos incendios y la primera BLEVE fue solo de 69 segundos (ambas explosiones fueron registradas por un sismógrafo). Finalmente el tiempo a partir del cual puede ocurrir un BLEVE en un recipiente afectado por un incendio depende de los siguientes factores:

- a) Flujo calorífico del incendio, que será función de la distancia al fuego del recipiente afectado, y de si hay contacto directo con las llamas.
- b) Radio de la esfera o del cilindro que forma el recipiente.
- c) Grado de llenado del recipiente.
- d) Capacidad de alivio de las válvulas de seguridad.
- e) Espesor de la capa de producto ignífugo aplicado como protección pasiva.

Método de Hasegawa y Sato

Para la estimación de los efectos que provoca una BLEVE, se ha propuesto diversos métodos de cálculo, en forma empírica, resultando el mas aceptado el de Hasegawa y Sato, que nos permite predecir en forma aproximada el diámetro, altura y la

duración de la bola de fuego, las expresiones son las siguientes:

$$D = 5.25 M^{0.314}$$

$$H = 0.75 D$$

$$t = 1.07 M^{0.181}$$

Siendo:

M : Masa del líquido inflamable contenido en el recipiente (Kg)

D : Diámetro de la bola de fuego (m)

H : Altura de la bola de fuego (m)

t : Duración del impulso de la radiación desde la bola de fuego (seg)

Al aplicar estas fórmulas podemos determinar las características de las BLEVE que se puedan ocasionar el caso estudiado, al tener cuatro esferas, es considerará la radiación térmica de cada caso. Para el cálculo de la distancia se considera ésta tomada desde el centro de la bola de fuego, que coincide con el centro del tanque de almacenamiento. De acuerdo al cuadro N° 10 se aprecian las características de las bolas de fuego que se producirían en los respectivos tanques de almacenamiento, Así como las distancias a las que se recibirían los niveles de radiación térmica críticos.

Cuadro: N° 10:

”Características de la bola de fuego de BLEVE y Distancias a las que se recibe los niveles de radiación térmica críticos (m)”

Capacidad Esfera (barriles)	M (Tn)	D (m)	t (seg)	H (m)	Radiación térmica (Kw/m ²)		
					4.0	12.6	37.8
5 000	36.9	143	7.2	107	900	538	341
10 000	73.9	177	8.1	133	1 171	699	441
20 000	147.7	220	9.2	165	1 519	907	570

Fuente: Propia

Año: 2004

Se debe tener en consideración que de ocurrir BLEVE en estas esferas, es de esperar que se produzca también en las esferas adyacentes, por el efecto de la reacción en cadena, por lo cual se debe tener en cuenta para el establecimiento de las distancias de seguridad y las zonas seguras, al efecto del caso mas grave, que es el correspondiente a la esfera de 20 000 barriles.

5.3.5. Detonación No Confinada : Explosión de Nube de Vapor No Contenida – UVCE

Este caso se presenta cuando se produce una fuga de gas o vapor en un espacio abierto, de tal manera que éste se acumula en una zona extensa sin que el viento lo llegue a dispersar suficientemente manteniendo la mezcla gas-aire dentro de los límites de inflamabilidad, llegando a formar un cúmulo de gas a nivel del suelo, el cual al entrar en contacto con una fuente de ignición en un lugar relativamente remoto con respecto al punto de inicio de la fuga, al producirse la ignición, se inflama toda la nube de gas-aire (o vapor-aire) produciéndose una ignición súbita del total de la mezcla, sin ocasionar incendio, dando origen a un frente de sobrepresión capaz de producir daños significativos.

Para evaluar los daños que puede producir la onda de sobrepresión que se origina en las explosiones se tiene el siguiente Cuadro N° 11.

De este cuadro podemos establecer que los valores críticos que debemos tener en cuenta en la evaluación son: 17, 43, 70 y 329 para daños personales; y 7, 27, 70 y 200 para daños materiales.

Cuadro N° 11: “Efectos de la sobrepresión originada por una explosión”

ΔP_{\max} (KPa)	Daños materiales	Daños personales
1	Rotura de algún cristal	-
7	Rotura de todos los cristales de ventanas	-
14	Rotura de tabiques y paneles	-
16	Rotura de paredes de bloques de cemento	-
17	-	Rotura de tímpanos
16-20	Colapso parcial de estructuras de hormigón (40-60 cm de espesor), destrucción total de viviendas ordinarias	-
20-27	Rotura de tanques para almacenamiento de líquidos, colapso de estructuras metálicas en edificios de construcción ordinaria	-
35	Casas quedan inhabitables	-
43	-	Daños pulmonares significativos a personas
47	Vuelco de vagones de ferrocarril	-
50	Rotura de paredes de ladrillo. Las casas requieren demolición	-
70	Ya casi no se requiere demolición (75% destrucción)	Umbral de daños graves a personas
100-200	100% destrucción	Probabilidad muy alta de lesiones graves a personas
329	-	Mortandad: 1%
406	-	Mortandad: 50%
500	-	Mortandad: 99%

Fuente : Manual de Seguridad Industrial en Plantas Químicas y Petroleras. Fundamentos, Evaluación de Riesgos y Diseño.

Año : 1998

Para el cálculo de los daños que ocasiona una explosión de este tipo es recomendable el uso del método del TNT equivalente, debido a que es práctico y se aplica con relativa sencillez; este método nos permite predecir los daños ocasionados por la explosión de una nube de vapor no confinada a partir de la masa de TNT que equivaldría a la cantidad de hidrocarburo implicado, es decir que ocasionaría el mismo nivel de daños. Esta conversión se realiza debido a que el TNT y sus efectos han sido muy ampliamente estudiados y tabulados, por el uso militar que se le ha dado.

En estas explosiones solamente una fracción muy pequeña de la energía liberada se convierte en energía mecánica (sobrepresión), para el caso del GLP se recomienda utilizar un factor " α " relativamente conservador de 0.05 (puede variar entre 0.01 – 0.20) se hace la evaluación para los casos en que se presenten fugas en: tanques de almacenamiento y tuberías, considerando en el primer caso que se produzca la fuga del 30% del GLP contenido en un tanque (considerando el caso más desfavorable) y en el segundo caso se consideran flujo de salida del gas de 420 gr/seg durante, calculando que la fuga tenga una duración entre 10 y 30 minutos hasta antes que se produzca la ignición. De esta manera se tienen los cuadros N° 12 y N° 13 en los que se ha determinado las distancias a las que se producen los niveles de sobrepresión considerados como críticos, tanto para daños personales como para daños materiales.

Cuadro N° 12:
**“Distancia en metros a la que se producen los niveles de
sobrepresión críticos para daños personales”**

Caso	Cantidad de producto (Kg)	Sobrepresión (KPa)			
		17	43	70	329
Fuga en tanque esférico	44 313	532	310	233	95
Fuga en tubería (10 min.)	252	95	55	42	17
Fuga en tubería (30 min.)	756	137	80	60	24

Fuente : Propia
Año : 2004

Cuadro N° 13:
**“Distancia en metros a la que se producen los niveles de
sobrepresión críticos para daños materiales”**

Caso	Cantidad de producto (Kg)	Sobrepresión (KPa)			
		7	27	70	200
Fuga en tanque esférico	44 313	892	406	233	126
Fuga en tubería (10 min.)	252	159	73	42	23
Fuga en tubería (30 min.)	756	230	105	60	33

Fuente : Propia
Año : 2004

De estos resultados tenemos que de producirse una UVCE por fuga en uno de los tanques esféricos la distancia a la que serían seriamente afectadas tanto las personas como las instalaciones es de 233 metros. Considerando que en un radio de 126 metros se tendrá prácticamente la destrucción total de estructuras a base de ladrillo y concreto y a 95 metros se produce el umbral de fatalidad.

Se observa que inclusive a una distancia de 406 metros se producirían efectos serios sobre las estructuras y que a 892 metros habrá rotura de cristales. Hasta una distancia máxima de 532 metros se produciría rotura de tímpanos del personal expuesto no protegido. Todo esto es debido únicamente a la onda de sobrepresión, tengamos que en cuenta que de producirse una UVCE por fuga en los tanques esféricos, esto ocasionar también un incendio en los tanques adyacentes, que podría terminar en un fuego de charco, el cual ha sido previamente descrito.

Para los casos de UVCE producidos por fugas en líneas (tuberías) de transporte del GLP, tenemos que, considerando el caso mas grave, la distancia a la que los daños serían severos es de 60 metros, mientras que el umbral de fatalidad se produciría a los 24 metros, y el daño total a estructuras se produciría en un radio de 33 metros. A una distancia de 230 metros habría rotura de cristales y a 105 metros habrían efectos serios sobre las estructuras; mientras que hasta 137 metros se produciría rotura de tímpanos de personal expuesto no protegido.

5.4. Análisis de Resultados

Se han establecido frecuencias probables de la ocurrencia de los eventos descritos, así también se ha realizado el cálculo de la severidad de los impactos que podrían causar, de lo que podemos concluir que al producirse una fuga del GLP, lo más probable es que se produzca una emisión puntual, seguido de un fuego de dardo, y de una emisión continua y un fuego de charco. Resultando Los efectos BLEVE y UVCE los menos probables. Se puede determinar que en función a severidad de los impactos son precisamente los eventos de BLEVE y UVCE los mas de consecuencias más severas, mientras que las emisiones puntuales son las que presentan efectos comparativamente mas leves. Las áreas de influencia de estos accidentes pueden apreciarse en los diagramas adjuntados en el Anexo N° 4.

Los resultados de estos análisis se presentan en el cuadro N° 14, en donde se pueden apreciar las distancias a las que se producen los efectos dañinos de los eventos estudiados.

Cuadro N° 14:
“Distancia (metros) de los Efectos más Severos de cada Evento”

Tipo de Evento	Menor daño	Nivel de daño crítico	Mayor daño
Emisión puntual	44	-	40
Emisión continua	112	108	78
Fuego de charco	24.5	13.9	8
Fuego de dardo	118	37.5	12.5
BLEVE	1519	907	570
UVCE	892	233	95

Fuente : Propia

Año : 2005

En este cuadro se puede observar que el evento cuyos efectos cubren un área mayor es el BLEVE, seguido del UVCE; y resultando ser el menor el fuego de charco.

Considerando las áreas de mayor daño, en las que se producen los mayores efectos, los cuales han sido descritos oportunamente, se asigna un valor referencial para la severidad del daño, el cual es equivalente al valor de la distancia que abarca el mayor daño ocasionado en el evento respectivo, esto está indicado en el cuadro N° 15, el cual se muestra a continuación.

Cuadro N° 15:
“Valor referencial de la severidad del impacto de cada evento”

Tipo de Evento	Valor de la severidad del impacto (Distancia que abarca el mayor daño)
BLEVE	570
UVCE	95
Emisión continua	78
Emisión puntual	40
Fuego de dardo	12.5
Fuego de charco	8

Fuente : Propia

Año : 2005

Cruzando estos valores con los que corresponden a las frecuencia de la ocurrencia de estos accidentes, determinada a partir de la probabilidad del que se produzca cada uno de estos tipo de evento (sección 5.2), se puede obtener el nivel de riesgo para cada caso, tal como se muestra en el cuadro N° 16.

Para esto se considera que el nivel de riesgo es equivalente al producto de la severidad del impacto con la probabilidad de ocurrencia

$$\text{Nivel de Riesgo} = \text{Severidad} \times \text{Probabilidad}$$

Se está considerando la probabilidad de ocurrencia en función de la frecuencia de ocurrencia de estos eventos, y se expresa la severidad en función de la distancia a la que se producen los efectos adversos (daños), teniendo en cuenta la distancia a la que se producen los efectos mas intensos o de mayor magnitud. El producto de estos valores nos dará un valor referencial para hacer un cuadro comparativo de los niveles de riesgo.

Cuadro N° 16:
“Nivel de riesgo para cada evento”

Tipo de Evento	Severidad	Frecuencia	Nivel de Riesgo
BLEVE	570	4.19×10^{-5}	23.84
Emisión puntual	40	5.03×10^{-4}	20.10
Emisión continua	78	5.58×10^{-5}	4.36
UVCE	95	2.76×10^{-5}	2.66
Fuego de dardo	12.5	2.09×10^{-4}	2.62
Fuego de charco	8	5.58×10^{-5}	0.45

Fuente : Propia

Año : 2005

De lo observado en este último cuadro se puede apreciar que el mayor riesgo lo representan los casos de BLEVE y Emisión Puntual, debido en el primer caso a la severidad de los impactos que produce y en el segundo caso a la frecuencia con que estos eventos se presentan. Mientras que el evento que presenta un menor riesgo es el fuego de charco tanto por su baja probabilidad de ocurrencia como por la menor severidad de los impactos que produce.

Es necesario señalar que los valores numéricos utilizados en esta determinación son únicamente referenciales en cuanto al nivel de riesgo y se utilizan solamente para establecer un orden comparativo entre el nivel de riesgo de los eventos estudiados y proporcionar un orden cualitativo de la peligrosidad de los mismos. No representan pues un valor cuantificado del nivel de riesgo que pueda tomarse como referencia para otros cálculos.

CAPITULO VI :
INSTRUMENTOS DE
CONTROL DE RIESGOS
DE ACCIDENTES MAYORES

INTRODUCCIÓN

Teniendo en cuenta los resultados discutidos en el capítulo anterior, y teniendo en cuenta el alto nivel de riesgo de incendio y explosiones que se presenta en la empresa, se ha visto la necesidad de plantear medidas que permitan, primero prevenir la ocurrencia de estos incidentes, y segundo determinar las acciones a tomar en caso de que suceda un accidente de este tipo. Para lo cual se está organizando estas propuestas en: Actividades destinadas a la Prevención y Actividades destinadas al Control de estas emergencias.

Las medidas que se proponen se han realizado tomando como base un modelo recomendado por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), que recomienda una serie de medidas que son aplicables tanto en empresas en las que no se tiene ningún programa destinado a la prevención de accidentes mayores, como para las empresas que cuentan con una organización destinada a controlar estos riesgos, el sistema recomienda la integración de la comunidad al sistema de seguridad, es decir, la participación de entidades tales como: Departamentos de Bomberos de la localidad, Departamento de Policía, puestos de socorro, instalaciones industriales vecinas, y los organismos reguladores (en el caso del Perú: Organismo Supervisor de la Inversión en Energía, Ministerio de Energía y Minas, entre otras autoridades locales); resulta muy importante para el desarrollo completo del sistema. Puesto que no solo se debe tener un plan de emergencia in situ, sino que además se debe facilitar información a las autoridades locales para que puedan establecer un plan de emergencia fuera del emplazamiento.

A continuación se describe las medidas propuestas para la prevención de incendios y explosiones aplicables a la empresa

6.1. Prevención de Incendios y Explosiones

Se describen las actividades destinadas a proteger a las instalaciones para minimizar el riesgo de que se produzcan incendios y/o explosiones en las instalaciones, así como para mantener al personal adecuadamente capacitado en los procedimientos de trabajo seguros, para asegurar la operatividad de la planta.

6.1.1. Sistemas para prevenir la desviación de condiciones de funcionamiento óptimas / permisibles

Se debe contar con mecanismos que nos aseguren en un mínimo grado, que los sistemas operativos se mantendrán constantemente en condiciones óptimas, y que en caso de que ocurra una desviación existirá un mecanismo para regularlo de tal manera que regrese a la condición inicial, o, si esto no es posible, deberá ser posible que genere una señal de alerta indicando esta desviación. Para lo cual es recomendable el uso de dispositivos electrónicos, entre los que se encuentran los siguientes:

a. Sistemas de alivio de presión

Los discos o válvulas de seguridad pueden liberar material a la atmósfera, esto sucede cuando la presión en el sistema sobrepasa las condiciones normales, y mediante la apertura de las válvulas de alivio de presión, las que permanecerán abiertas hasta que se estabilice la presión en el interior del recipiente o equipo. Estas válvulas de alivio se deben encontrar en todos los tanques de almacenamiento, y deben estar correctamente calibradas para que se aperturen a la presión adecuada y que se cierren automáticamente al nivelar la presión interna del recipiente al llegar a la presión normal de operación. Para lo cual deben contar con sensores de presión en el interior de los tanques.

b. Sensores de temperatura / presión / flujo

Los sensores de temperatura / presión / flujo en el proceso han sido diseñados para activar mecanismos, tales como el enfriamiento de emergencia, sistemas de alarma, válvulas de alivio. Son indispensables para nuestro caso particular en que se requiere una detección temprana de los sucesos iniciales y una respuesta inmediata, que permitirá controlar la emergencia en forma más eficiente.

En nuestro caso los detectores de llama que se encuentran en el área de casa de bombas, aledaña a los tanques de almacenamiento funcionan haciendo uso de sensores de radiación infrarroja y ultravioleta, lo cual proporciona una detección inmediata del fuego. Este sistema de detección debe estar interconectado con la estación contra incendios, con el sistemas de alarmas y con el panel de control que activa a los aspersores del área, el cual debe poder activarse en forma automática.

c. Sistemas de prevención de sobrellenado

Estos sistemas están constituidos por controles de nivel en recipientes, que al llegar al nivel máximo (% máximo de llenado según normas), cierran la admisión de flujo del material o lo desvían. Este sistema debe estar interconectado con el panel de control en el área de movimiento de productos, desde donde se monitorea el llenado de los tanques. Estos sensores de nivel se activan cuando los tanques llegan al 89% del volumen total del recipiente, el cual no debe ser sobrepasado en ningún momento.

d. Sistemas de cierre de seguridad, sistemas de cierre de emergencia

Se trata de sistemas que paran la planta por completo, para ponerla en situación de seguridad. Estos mecanismos pueden ser de acción manual o automáticos. Dichos sistemas se encargarán de cerrar compresores y bombas, y de cerrar o abrir (según sea el caso) válvulas de ajuste rápido de acción automática.

6.1.2. Sistemas que evitan el fallo de los componentes relacionados con la seguridad

Los componentes relacionados con la seguridad pueden necesitar un equipamiento especial para lograr una mayor fiabilidad, en función de su importancia en el sistema de seguridad. La planta puede disponer de sistemas diferentes que asumen la función de esos componentes (diversidad) o puede haber un segundo componente que cumple el mismo cometido (seguridad por redundancia).

La red de agua contra incendios que abastece a los tanques de almacenamiento cuenta con un sistema redundantes de abastecimiento de agua, el cual provee de agua potable a la red desde un tanque de almacenamiento de agua (reserva de agua contra incendios), en caso de que falle la red de agua contra incendios que proporciona agua salada (agua del mar). Este sistema se activa automáticamente al detectar un flujo (caudal) insuficiente en la red.

6.1.3. Servicios

Los suministros de servicios relacionados con la seguridad, tales como el suministro de electricidad para los sistemas de control, de aire comprimido para los instrumentos o de nitrógeno como gas inerte, podrían requerir una segunda fuente, como por ejemplo pilas, una cisterna de almacenamiento de amortiguación o un conjunto adicional de cilindros para el gas insuflado en caso de fallo del sistema primario.

Estos servicios al ser elementales para el funcionamiento de la planta es necesario establecer sistemas de que aseguren la continuidad de estos servicios. Para los cual se debe contar con lo siguiente:

- a. Un grupo electrógeno de capacidad suficiente para atender las necesidades de suministro eléctrico de la planta por un tiempo no menor de 4 horas.
- b. Un compresor alternativo para el suministro de aire comprimido para los instrumentos, además de tanques en donde se tenga aire comprimido almacenado para cubrir las necesidades de la planta por un tiempo no menor de 4 horas.
- c. El almacenamiento de combustible debe tener un nivel de reserva para casos de emergencia
- d. El tanque almacenamiento de agua contra incendios debe cubrir las necesidades de la planta por un tiempo no menor de 4 horas para el caso mas desfavorable, así como los demás suministros requeridos, como la cantidad del concentrado de espuma, y la capacidad de las bombas de la red.

6.1.4. Prevención de los errores humanos y de organización

Las medidas preventivas que pueden adoptarse para la prevención de errores humanos, considerados estos, como una fuente de accidentes:

- a. Empleo de conexiones de diferente dimensión en las estaciones de carga de los camiones cisternas para prevenir la mezcla de sustancias reactivas (por ejemplo, al ácido sulfúrico y el ácido nítrico);
- b. Prevención de la mezclas de materiales por medio de un etiquetado, embalado, inspección de recepción y análisis apropiados;
- c. Interconexión de válvulas y conmutadores relacionados con la seguridad que pueden no funcionar simultáneamente;

- d. Marcado claro de los conmutadores, botones y los dispositivos visualizadores en los cuadros de mando;
- e. Dispositivos adecuados de comunicación para el personal de la planta;
- f. Salvaguardas contra conmutaciones por descuido;
- g. Capacitación al personal.

6.1.5. Plan de mantenimiento e inspecciones

La seguridad de una planta y el funcionamiento de los sistemas relacionados con la seguridad sólo pueden tener la calidad que alcancen las funciones de mantenimiento y vigilancia de esos sistemas. Por esta razón, es sumamente importante establecer un plan de mantenimiento y vigilancia de la planta que incluya las siguientes tareas:

- a. Verificación de las condiciones de funcionamiento relacionadas con la seguridad tanto en la sala de control como en el resiento en general;
- b. Verificación de las partes de la planta relacionadas con la seguridad en lugar mismo, es decir, mediante la inspección visual o por medio de la vigilancia a distancia;
- c. Vigilancia de los servicios relacionados con la seguridad (electricidad, vapor, líquido refrigerante, aire comprimido, etc.);
- d. Preparación de un plan de mantenimiento y vigilancia y de una documentación del trabajo de mantenimiento en la que se especifiquen los diferentes intervalos del mantenimiento y el tipo de tareas que se han de ejecutar.

Además el plan de mantenimiento y vigilancia debe especificar las calificaciones y la experiencia requeridas con respecto al personal que ha de cumplir esos cometidos.

Es necesario también establecer un plan para efectuar las inspecciones in situ que deben incluir un plan y las condiciones de funcionamiento que se han de respetar durante el trabajo de inspección.

Las reparaciones pueden ser una fuente importante de accidentes. En vista de ello, se deben especificar procedimientos estrictos para realizar los trabajos de reparación (por ejemplo, soldadura de componentes que contienen sustancias inflamables). Estos procedimientos deben abarcar los trabajos de reparación que requieren el paro de la planta y la limpieza de las cisternas (tanques), las calificaciones con que ha de contar el personal, las exigencias de calidad del trabajo que se ha de ejecutar y los requisitos relativos a la supervisión de las reparaciones. Debido a la importancia de este aspecto, muchos fabricantes establecen sus propias normas con respecto a los trabajos de reparación además de las normas nacionales que se puedan exigir.

6.1.6. Programa de capacitación del personal

Si bien las medidas técnicas son esenciales para la seguridad de la planta, ninguna planta se puede diseñar de manera que funcione sin la intervención humana.

Dado que los seres humanos pueden tener una influencia tanto negativa como positiva sobre la seguridad de la planta, conviene reducir la influencia negativa y fomentar la positiva. Ambas metas se pueden lograr mediante la elección y capacitación adecuadas del personal, que debe incluir información sobre:

- a. Los riesgos del proceso o de las sustancias utilizadas;
- b. Las condiciones posibles de funcionamiento, con inclusión de los procedimientos de puesta en marcha y parada;

- c. El comportamiento a seguir en caso de funcionamientos defectuosos o accidentes;
- d. La experiencia en otras plantas análogas, en particular con respecto a accidentes o en casos en que han estado a punto de producirse.

6.1.7. Asignación de responsabilidades en relación con la seguridad de la planta

a. Responsabilidad de la Gerencia

La protección Contra Incendios es una responsabilidad de la Gerencia, la que se delega a los supervisores de todos los niveles, quienes son directamente responsables de los propios programas de protección Contra Incendios.

b. Responsabilidad de las Dependencias -

- i. Los Jefes de cada Dependencia tienen la responsabilidad de establecer una adecuada Organización Contra Incendios dentro de su área, asegurando en forma permanente el entrenamiento y capacitación de su personal.
- ii. Hacer cumplir los programas de mantenimiento de los equipos y facilidades Contra Incendios asignadas a su área de responsabilidad.
- iii. Nombrar al Jefe Contra Incendios de su Área, quien integra el Comando, que es el encargado de dirigir el combate del fuego en sus instalaciones.
- iv. Elaborar y mantener actualizados sus propios planes de evacuación y organización de Brigadas Contra Incendios.

c. Responsabilidad de Contra Incendios

- i. Dar cumplimiento a la política general de la Empresa, en lo relacionado a Contra Incendios.
- ii. Proporcionar la asistencia técnica requerida para el desarrollo y cumplimiento de las políticas.
- iii. Investigar los incendios ocurridos a fin de determinar las causas y emitir las recomendaciones correctivas para evitar su repetición, realizando el seguimiento respectivo.
- iv. Decidir la técnica y equipo a utilizarse para controlar, atacar y extinguir el fuego, incluyendo las operaciones de protección al personal, equipo y a otras unidades.
- v. Proporcionar entrenamiento al personal de la organización Contra Incendios y demás personal de la Empresa en todos los niveles.
- vi. Realizar programas de inspección a todas las operaciones a fin de eliminar o reducir los riesgos.
- vii. Realizar el mantenimiento periódico de los equipos y facilidades Contra Incendios.
- viii. Control y pedido de equipos, materiales, equipos de protección y facilidades Contra Incendios.

d. Responsabilidad de Seguridad e Higiene Industrial y Protección Industrial

- i. Participar y asesorar en las operaciones Contra Incendios, velando por la Seguridad del personal y las instalaciones.
- ii. Evitar el ingreso de personas y vehículos no involucrados en la organización Contra Incendios, mediante una adecuada red de vigilancia y Seguridad.

e. Responsabilidad del Servicio Médico

- i. Prestar la ayuda necesaria al personal involucrado en la emergencia.
- ii. Prestar los primeros auxilios a las víctimas del accidente.

- iii. En la etapa preventiva deben preparar a la brigada de primeros auxilios para una adecuada actuación en casos de emergencia.
- iv. Proveer de suficientes equipos y medicamentos para la atención de heridos, así como de la dotación de los botiquines ubicados en las diferentes áreas de la empresa

6.2. Control de Incendios y Explosiones

A pesar de tomar todas las medidas para prevenir los incidentes, se debe contar con toda la preparación para actuar en caso de que estos ocurran, tal es el caso de los accidentes mayores. A continuación se describen las medidas que se tomarán para el control de los incendios y explosiones, y como debe estar organizada la empresa para responder ante estos.

6.2.1. Sistemas de alarma

Son sistemas que por medio de sensores, permiten a los operarios determinar las causas de un mal funcionamiento tan pronto como se produce. Se dispone de sistemas de alarma para:

- e. Vigilar los parámetros del proceso (temperatura, presión, magnitud del flujo, cantidad, nivel, proporción de la mezcla, contenido en O₂);
- f. Detección de deficiencias de los componentes relacionados con la seguridad (bombas, compresoras, agitadores, ventiladores impelentes);
- g. Detección de escapes (detectores de gas, explosímetros);
- h. Detección de fuegos o humos;

- i. Detección de deficiencias de los dispositivos de seguridad (principio de la corriente permanente).

6.2.2. Medidas de protección técnicas

Además de los sistemas de seguridad que ayudan a tener la planta en un estado de seguridad, se pueden adoptar medidas de protección para limitar las consecuencias de un accidente, entre las cuales cabe mencionar las siguientes:

a. Detectores de gases;

Los detectores de gases se colocarán en las zonas en las que se tenga un mayor riesgo de que se presenten fugas con la consiguiente acumulación de los gases, tal como las caseta de bombas en la que se pueden presentar fugas debido a que las uniones entre las tuberías y los instrumentos no son soldadas, sino que se realizan con bridas, las cuales no presentan un sello completamente hermético, y las fugas son frecuentes con un caudal no significativo.

b. Sistemas de rociadores de agua (para enfriar los tanques o extinguir incendios);

Los rociadores que deben tener los tanques de almacenamiento deben cubrir el 100 % de la superficie de los mismos, para lo cual es recomendable que se tenga un anillo rociador, un rociador en el tope y un anillo rociador en la base de la esfera.

c. Chorros de agua;

Como un refuerzo para el suministro de agua, se debe contar con la ayuda de monitores lanzadores de agua, los cuales pueden ser operados en forma manual, automática o dirigidos a través de un

panel de control. Deben tener suficiente alcance para llegar al punto mas alto con la suficiente presión y caudal. Además de contar con hidrantes para suministro de agua con mangueras provenientes del camión de bomberos.

d. Sistemas de dispersión de vapor

Los sistemas de dispersión de vapor cumplen la función de dispersar los gases o vapores que se hayan acumulado en un área como producto de una fuga en el sistema, evitando que se forme una nube de gas, estos sistemas consisten en la aplicación de agua o vapor de agua en forma de chorro para diluir estos vapores y humedecerlos, haciendo que la mezcla vapor-agua o gas-agua se haga incombustible por el mayor porcentaje de humedad.

e. Muros de protección

Los muros de protección actúan como una barrera para mitigar los efectos físicos que los accidentes pueden ocasionar en el entorno, en las instalaciones y al personal, deben estar ubicados a una distancia tal que no afecte el normal desarrollo de las actividades de la planta y deben tener las dimensiones que los hagan capaces de soportar los esfuerzos físicos de sobrepresión y efectos térmicos.

6.2.3. Medidas de mitigación

Ninguna instalación que presente riesgos de accidentes mayores podrá ser nunca absolutamente segura. Incluso si se ha realizado una evaluación del riesgo, si se han detectado los riesgos y se han adoptado medidas adecuadas, la posibilidad de un accidente no puede suprimirse totalmente. Para paliar las consecuencias de un accidente, conviene proyectar y adoptar las medidas de organización

adecuadas, de acuerdo al tipo y nivel de riesgo existente en la instalación.

Por esta razón el concepto de seguridad debe incluir la planificación y adopción de medidas que puedan mitigar las consecuencias de un accidente. Las medidas para paliar las consecuencias de un accidente se relacionan principalmente con la reacción a un escape de una sustancia peligrosa. Para poder introducir contramedidas en caso de accidente, el fabricante tiene necesidad de:

- a. Crear y capacitar un cuerpo de bomberos profesionales o voluntarios;
- b. Establecer sistemas de alarma en línea directa con los bomberos o con las fuerzas de emergencia públicas;
- c. Establecer un plan de emergencia que prevea:
 - i. El sistema de organización utilizado para actuar en la situación de emergencia;
 - ii. La alarma y las vías de comunicación;
 - iii. Directrices para actuar en la situación de emergencia;
 - iv. Información acerca de las sustancias peligrosas;
 - v. Ejemplos de posibles secuencias del accidente.
- d. Llegar a un acuerdo con las autoridades respecto de la coordinación con su plan de lucha contra los accidentes;
- e. Comunicar a las autoridades la índole y el alcance del riesgo que entraña un eventual accidente;
- f. Proporcionar antídotos, en caso de producirse un escape de sustancias tóxicas

Todas estas medidas han de corresponder a los peligros determinados en la evaluación. Además deben ir acompañadas de una capacitación apropiada del personal de la planta, las fuerzas de emergencia y los representantes responsables de los servicios públicos. Sólo la capacitación y los ensayos de situaciones de accidentes pueden dar a los planes de emergencia un carácter lo suficientemente realista para que funcionen en una situación concreta.

Planificación de las emergencias

La planificación de las emergencias debe realizarse para hacer frente con eficacia a las emergencias mayores que tienen el potencial de causar lesiones graves o la pérdida de vidas humanas, daños considerables a los bienes y una fuerte perturbación dentro y fuera de las instalaciones de la empresa. Al planificar la emergencia debe identificarse los accidentes posibles, realizar una evaluación de las consecuencias de los mismos y determinar la adopción de procedimientos de urgencia, tanto en el emplazamiento como fuera del mismo, que sería necesario aplicar en caso de producirse una situación de emergencia.

Los objetivos generales de un plan de emergencia deben ser los siguientes:

- a. Localizar la emergencia y, de ser posible, eliminarla;
- b. Reducir al mínimo los efectos del accidente sobre las personas y los bienes.

La eliminación requerirá la pronta actuación de los operarios y del personal encargado de la situación de emergencia en la fábrica que habrá de utilizar, por ejemplo, equipo contra incendios, interruptores de emergencia y vaporizadores de agua.

La reducción al mínimo de los efectos puede incluir actividades de rescate, primeros auxilios, evacuación, rehabilitación y rápida información a la población que vive en los alrededores del emplazamiento.

El plan debe incluir los siguientes elementos:

- a. Evaluación de la magnitud y naturaleza de los accidentes previstos y de la probabilidad de que se produzcan;
- b. Formulación del plan y enlace con las autoridades exteriores, con inclusión de los servicios de emergencia;
- c. Procedimientos:
 - i. Sistema para dar la alarma;
 - ii. Comunicaciones dentro y fuera de la fábrica;
- d. Nombramiento de personal esencial, con indicación de sus deberes y responsabilidades:
 - i. Supervisor de los accidentes en la planta;
 - ii. Supervisor principal de la planta;
- e. Centro de control de la situación de emergencia;
- f. Medidas adoptadas in situ ;
- g. Medidas adoptadas fuera del emplazamiento.

El plan debe indicar como las personas designadas en el lugar del accidente pueden iniciar medidas complementarias, tanto dentro como fuera de la planta, a su debido momento.

A continuación se presenta el Plan de Emergencias, Incendios y Desastres propuesto para la empresa en estudio:

6.3. Plan de Emergencias, Incendios y Desastres

Un incendio puede ocurrir en cualquier lugar y momento sin ningún aviso. Por eso, es necesario el planeamiento para poder tomar acción inmediata y reducir o evitar los daños.

- A. Los planes deben ser detallados, precisos y objetivos.
- B. El planeamiento debe tener en cuenta los siguientes principios.
 - i. Continuidad.
 - ii. Control y dirección por el operativo.
 - iii. Determinación de las áreas de riesgo, críticas o potenciales de incendios.
 - iv. Asignación y distribución de equipo y personal.
 - v. Establecimiento de situaciones hipotéticas de incendio.
 - vi. Rapidez de intervención.
 - vii. Comunicaciones.
- C. Toda instalación debe tener un Plan Contra Incendios (gráfico literal), el mismo que debe ser colocado en una vitrina con acceso a todo el personal.
- D. Los planes serán coordinados con el Supervisor de Contra Incendios, que dará la respectiva conformidad. Anualmente deben ser revisados.
- E. Todo Plan Contra Incendios deberá considerar los procedimientos operativos de las instalaciones.

- F. La evacuación del personal, de las áreas críticas debe figurar en forma gráfica en cada Plan Contra Incendios y debe coincidir con las señales establecidas en cada área.
- G. Los Planes deberán ensayarse tres veces al año, ya sea con o sin aviso.

ALARMAS Y PLAN DE LLAMADAS

ALARMAS DE INCENDIOS

- A. Las alarmas Contra Incendios tienen el objeto de alertar al personal en general y particularmente a aquel personal que está incluido en el Plan Contra Incendios, los que deberán reportarse en los lugares establecidos.
- B. Las sirenas operadas en las instalaciones de la empresa, en caso de incendio o emergencias relacionadas, son las siguientes:
- Sirena I - Planta
 - Sirena II - Exterior
 - Sirena III - Población
- C. Toques de Sirenas

Al ocurrir un incendio, las sirenas serán operadas de la siguiente manera:

- i. Durante horas de oficina, se tocará la sirena de Planta 3 veces, por espacio de 40 segundos con intervalos de 15 segundos.
- ii. Fuera de horas de oficina, se tocará las sirenas de Planta, Exterior y Población, 3 veces por espacio de 40 segundos con intervalos de 15 segundos.
- iii. Evacuación de edificios, cuando por alguna circunstancia sea necesario la evacuación de algún edificio, se accionarán en forma continua las sirenas propias del mismo edificio.

- iv. Evacuación general de la ciudad, para estos casos se tocarán las sirenas de Planta, Exterior y Población en forma continua por espacio de 3 minutos.

PLAN DE LLAMADAS TELEFÓNICAS

Además de las Alarmas de Incendio, existen planes de llamadas telefónicas para alertar a los miembros de la Organización Contra Incendios.

PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA

GENERALIDADES

En esta Sección se contemplan los procedimientos que deberá seguirse en caso de producirse un incendio o siniestro en cualquier instalación de las operaciones de la empresa.

PROCEDIMIENTO DE EMERGENCIA

Al ocurrir un incendio, aplicar el siguiente procedimiento:

- A. Dar aviso del incendio indicando:
 - 1. Lugar del incendio
 - 2. Tipo de incendio o equipos involucrados
 - 3. Magnitud del incendio
 - 4. Nombre del informante.
- B. Evacuar al personal ajeno a la dependencia o instalación afectada. Esto se logrará mediante la ejecución del Plan de Evacuación del área.
- C. Aislar la unidad o equipos, aplicando los procedimientos operativos o de emergencia.
- D. Combatir el fuego con los medios disponibles.

PROCEDIMIENTOS DE EMERGENCIA ESPECÍFICOS

A. Incendio en Área de Operaciones

- i. Dar la alarma por Teléfono a sala de control: El operador de la Sala de Control es responsable de:
 - a. Asegurarse del lugar exacto del incendio y nombre del informante.
 - b. Ordenar el toque de las sirenas Contra Incendios.
 - c. Transmitir el aviso a la Estación Contra Incendios y a la Unidad de Protección Industrial (UPIN).
 - d. Poner en marcha el Plan de Llamadas.
- ii. El Jefe de Guardia tomará el mando de todas las operaciones para controlar el fuego y/o la emergencia, hasta su relevo con la Organización Contra Incendios.
- iii. Los integrantes de las Brigadas se reportarán a la Estación Contra Incendios y actuarán de acuerdo a lo establecido.
- iv. Un operario de Contra Incendios se reportará a la Estación de Bombas Contra incendios en el Muelle de Carga Líquida, debiendo coordinar a través del Teléfono ó Radio frecuencia.
- v. El personal de Contra Incendios - UPIN es responsable de la operación de las Bombas Contra Incendios del Muelle, Bombas.
- vi. Los centros de comunicación de emergencia serán responsables de poner en práctica el Plan de Llamadas.

B. Incendio en otros sectores del Área Industrial

- i. Ocurrido el incendio, se dará aviso a Control y a la Estación Contra Incendio.
- ii. Control se encargará de poner en práctica el Plan de Llamadas respectivo.
- iii. Evacuar al personal de los edificios, oficinas o talleres involucrados, de acuerdo a los Planes de Evacuación establecidos.

- iv. Poner en práctica el Plan Contra Incendios establecido del Edificio: corte de corriente, actuación de las Brigadas Auxiliares, etc., (caso horas de oficina).
- v. Producida la llegada de la Organización Contra Incendios, ésta se hará cargo de las acciones para controlar y extinguir el incendio.

C. Incendio en Plantas de Gas Natural y Distribución Eléctrica

- i. Dar la alarma de incendio por radio, a Control quien a su vez pondrá en práctica el Plan de Llamadas para estos casos.
- ii. Control deberá efectuar las siguientes llamadas:
 - a. Estación Contra Incendios
 - b. Jefe Guardia Destilación
 - c. Jefe Guardia MPA
- iii. Personal de la Planta deberá combatir el fuego con los medios disponibles hasta la llegada de la Organización Contra Incendios.
- iv. Los integrantes de la Brigada Contra Incendio deberán hacerse presentes a la Planta involucrada.

D. Incendio en las demás áreas

- i. Ocurrido el incendio, se dará aviso a Control y a la Estación Contra Incendio.
- ii. Control se encargará de poner en práctica el Plan de Llamadas respectivo.
- iii. Evacuar al personal de los edificios involucrados, de acuerdo a los Planes de Evacuación establecidos.
- iv. Poner en práctica el Plan Contra Incendios establecido del Edificio: corte de corriente, actuación de las Brigadas Auxiliares, etc., (caso horas de oficina).
- v. Producida la llegada de la Organización Contra Incendios, ésta se hará cargo de las acciones para controlar y extinguir el incendio.

- E. Incendios en Áreas de Población
 - i. Se dará aviso por el medio más rápido a Control indicando con exactitud el lugar del incendio.
 - ii. Control pondrá en práctica el respectivo Plan de Llamadas.

ENTRENAMIENTO

OBJETIVOS

- A. Proporcionar al personal de todos los niveles los conocimientos necesarios para poder alcanzar los objetivos fijados por la Empresa.
- B. Asegurar en forma permanente la eficiencia de la Organización Contra Incendios, en lo referente a lucha Contra Incendio.
- C. Lograr una conciencia de Prevención Contra Incendios en todos los niveles de la Empresa.
- D. Asegurar el correcto uso y aplicación de los medios de extinción con que cuentan las diferentes dependencias.
- E. Asegurar el desarrollo eficaz de los diferentes planes de Contra Incendios y Emergencias de las dependencias.

GENERALIDADES

- A. La preparación de los diferentes programas, y su desarrollo, a nivel Empresa, estará bajo la responsabilidad directa de Contra Incendio.
- B. Cada Jefe de Departamento será responsable de la asistencia y puntualidad al personal programado para los diferentes cursos a dictarse.
- C. Cada Departamento debe establecer sus propios programas de entrenamiento, de acuerdo a sus necesidades; por el tipo de operaciones que se realizan y por el riesgo que éstas implican.
- D. Contra Incendio puede asistir a los programas mencionados en el punto anterior, en calidad de observador.

TIPOS ENTRENAMIENTO

Cursos Teóricos - Prácticos

A. Generalidades

- i. Estarán dirigidos a todos los niveles de la Empresa.
- ii. Se realizarán en coordinación directa con el Centro de Capacitación.
- iii. Deberán desarrollar la conciencia de Prevención Contra Incendios, y proporcionar los conocimientos básicos para el uso correcto y aplicación de los agentes extintores.
- iv. Los programas son preparados y conducidos por la Organización Contra Incendios.

B. Estructura

- i. Dirigido al personal operativo y no operativo de las áreas industriales y de campo.
- ii. Los tópicos tratados en los cursos serán:
 - a. Química Fuego.
 - b. Procedimientos Emergencia.
 - c. Permisos de Trabajo (en frío y en caliente).
 - d. Clasificación de Extintores, Incendios, Materiales.
 - e. Uso de Agentes y Medios de Extinción.
 - f. Uso de Mangas, Pitones, etc.
 - g. Películas de Seguridad y Contra Incendio.
 - h. Prácticas con fuego vivo.
- iii. Los cursos serán dictados el tercer miércoles de cada mes.
- iv. La duración de estos cursos será de cuatro horas.

PRACTICAS PARA BRIGADAS CONTRA INCENDIO

A. Generalidades

- i. Dirigidas al personal que integra las Brigadas de la Organización Contra Incendios.

- ii. Se realizarán bajo la coordinación y dirección de Contra Incendios - UPIN.
- iii. Mantener, entrenadas a las Brigadas Contra Incendio, a fin de que puedan combatir eficientemente los incendios que se presenten en nuestras operaciones.
- iv. Los diferentes programas a nivel Empresa son preparados y conducidos por Contra Incendios - UPIN.

B. Estructura

- i. Se distinguen dos tipos de entrenamiento, atendiendo la procedencia de las Brigadas Contra Incendio.
 - a. Brigadas Contra Incendio - Operaciones: "A".
 - b. Brigadas Contra Incendio - Plantas de Gas Natural y Plantas Eléctricas: "B".

Esto por cuanto las Brigadas Contra Incendio de Operaciones, tienen asignados los vehículos Contra Incendio, por lo que el entrenamiento requiere de instrucción en el manipuleo y operación de las bombas respectivas, emplazamientos, etc.
- ii. Los tópicos que son tratados en los cursos – prácticas, incluyen los mencionados líneas arriba además de los siguientes:
 - a. Operación de bombas Contra Incendios.
 - b. Descripción y uso de mangueras, pitones, llaves, etc. y facilidades Contra Incendio.
 - c. Incendios en Unidades de Proceso por:
 - 1. Derrames: Flujo y sin flujo.
 - 2. Explosión: Hornos, calderos, etc.
 - 3. Fugas en torres, líneas, recipientes, etc.
 - 4. Cortocircuitos en bombas, instrumentos, etc.
 - d. Incendios en tanques de almacenamiento.
 - e. Incendios de hidrocarburos y gases: prevención, combate, control, enfriamiento, extinción.

- f. Agentes extintores: uso y regímenes de aplicación del:
 - 1. Agua
 - 2. Polvo Químico Seco
 - 3. Gas Carbónico
 - 4. Espuma (Hidrocarburos, solventes, etc.)

- iii. Calendario de prácticas:
 - a. Brigadas de Operaciones: 1 vez por semana.
 - b. Brigadas de Plantas: 1 vez por mes.

La duración de éstas son de 2 horas.

SIMULACROS DE EVACUACIÓN

A. Generalidades

- i. Dirigidas a todo el personal que desempeña sus labores en áreas administrativas, edificios, oficinas, talleres, etc.
- ii. Se realizan bajo la coordinación de Seguridad e Higiene Industrial.
- iii. Los programas de evacuación son preparados y dirigidos por la Unidad de Protección Industrial y participan todas las áreas establecidas en el Plan de Llamadas de Emergencia.
- iv. Difundir en todos los niveles, la necesidad del establecimiento de Planes de Evacuación, dirigidos a lograr evacuaciones ordenadas, rápidas y seguras del personal que labora en una oficina, edificio, etc.

B. Estructura

- i. Cada área deberá realizar 2 simulacros al año; durante el primer semestre se realizarán los simulacros denominados "Con aviso" y en el segundo semestre los llamados "Sin aviso".
- ii. Cada área podrá realizar ejercicios paralelos a los establecidos oficialmente por la Unidad de Protección Industrial.

- iii. En los Simulacros de Evacuación, participará la Organización Contra Incendios en calidad de asesora.

C. Tipos de Simulacro de Evacuación

- i. Simulacros de Evacuación con aviso previo.
- ii. Simulacros de Evacuación sin aviso.

CONTROL DE EMERGENCIAS DE GLP

Para efectos de las medidas de respuesta en caso de emergencia, se tomará en cuenta las diversas situaciones de riesgo, clasificando los tipos de evento en dos situaciones particulares:

1. **Emergencias sin incendio**, ocasionadas por fugas de gas que tienen la posibilidad de deflagrar si alcanzan una fuente de ignición, se pueden considerar como la emergencia en una etapa inicial, antes de que se produzca la ignición, o sin que esta se llegue a producir, que es lo que debe procurarse.
2. **Emergencias con incendio**, ocasionadas por fugas de gas en llamas que tienen como riesgo propagar el fuego sobre una estructura. Si además el fuego amenaza a otros recipientes de GLP o cualquier licuado inflamable se introduce la posibilidad (riesgo) de una Explosión de Vapores en Expansión de Líquidos en Ebullición.

En caso de tratarse de una explosión, sea del tipo que fuera, las medidas de control de la emergencia serán las mismas a aplicar que en caso de un incendio, teniendo en cuenta que a diferencia de los incendios, las explosiones se producen en intervalos de tiempo muy cortos (del orden de las décimas de segundo) que no permiten una actuación para controlarlas, por lo cual se debe hacer énfasis en evitar que estas se produzcan.

CONTROL DE EMERGENCIAS SIN INCENDIO

- Organizar - fuera de la zona de daños - un triple sistema de lucha contra el fuego, utilizando polvo extintor, agua y espuma.
- Abatir los gases con agua pulverizada, o en forma de niebla.
- Obturar o cerrar bien las fugas utilizando protección contra el calor y respiratoria.
- Tener en cuenta el riesgo de explosión de la mezcla de gas con aire

Las fugas de GLP presentan situaciones de emergencia, el vapor de GLP es normalmente 1.5 a 2 veces más pesado que el aire, por lo tanto tiende a extenderse a nivel del suelo. Las fugas de gas se pueden apreciar por la niebla visible de vapor de agua condensado que se forma, sin embargo las mezclas capaces de inflamarse se extienden mas allá de la zona visible. El escape de gas se controla generalmente dirigiéndolo, diluyéndolo o dispersándolo para impedir su contacto con fuentes de ignición. Simultáneamente y de ser posible se debe tratar de detener el flujo de gas en el punto de fuga. Para canalizar, diluir o dispersar el gas se necesita el empleo de algún fluido que pueda ser portador (agua o aire son lo más comúnmente utilizados), el empleo de aire está prácticamente limitado a espacios interiores. El agua de forma pulverizada (niebla de agua) aplicada mediante mangueras, lanzas, monitores o sistemas fijos es el fluido portador más común.

PROCEDIMIENTO

1. Evacuar el área
2. No encender ni apagar ningún aparato eléctrico
3. Tener siempre presente la posibilidad de alguna fuente de ignición aparentemente encubierta: Radio (aparatos de comunicaciones), interruptor, ser humano, etc.
4. Tener siempre presente los actos individuales de otras personas
5. Abrir ventanas y vías de escape (ventilar el ambiente)

6. Cargar líneas de mangueras de agua o sistemas automáticos y dirigir chorros de niebla agua al ambiente afectado desde la parte posterior al flujo de la fuga hacia ventanas y vías de escape
7. Ingresar en parejas con equipo completo de protección personal para tratar de controlar la fuga.

CONTROL DE EMERGENCIAS CON INCENDIO

Las emergencias con incendio se controlan generalmente disminuyendo la cantidad de calor producido por el fuego mediante la aplicación de chorros de agua, mientras de ser posible se evita el escape de gas. Muchos incendios de gas pueden extinguirse con varios agentes ignífugos existentes, entre los cuales el Polvo Químico Seco a base de bicarbonato de potasio es el más efectivo. Sin embargo, se debe tener muy en cuenta el peligro de la conversión de un incendio de gas en una deflagración, si la fuga de gas continúa escapándose después de su extinción.

En caso de que la fuga de gas en llamas no comprometa ninguna estructura combustible aledaña, otro tanque de GLP o el propio tanque, no existe apuro en extinguir las llamas hasta que se tenga la completa seguridad de que una vez extinguidas estas, se puede controlar la fuga inmediatamente. Una emergencia con peligro de BLEVE se da cuando un recipiente fuga en llamas, calentando a otro recipiente o cuando existe una fisura en el propio recipiente.

PROCEDIMIENTO

- Usar el agente de extinción más adecuado, según sea el nivel de la radiación térmica; de tal manera que para una mayor refrigeración en caso de una alta radiación térmica es recomendable el uso de agua en forma de niebla; para casos en los que la radiación térmica sea menor se puede utilizar Polvo Químico Seco, pero siempre acompañado de agua par refrigeración.

- Usar los agentes extintores solos o en combinación. El portador de la lanza y su ayudante deben estar equipados con protección respiratoria y contra el calor.
- Refrigerar el recipiente con agua pulverizada, teniendo en cuenta el Peligro de estallido y explosión.
- Situarse en un lugar protegido, de forma que si se produjese una explosión no se produzcan daños personales.
- Apagar la llama en el punto de fuga utilizando protección contra el calor y respiratoria, según sea la situación, pero solamente si a continuación fuese posible obturar o cerrar la fuga inmediatamente. Si esto no fuera posible dejar arder controladamente. Asegurar los alrededores refrigerando.
- Si es posible, actuar desde un lugar protegido o posición segura, u operar equipos de acción remota.

CONTROL DE EMERGENCIAS EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO

Se debe considerar en caso que un incendio este en desarrollo o se haya producido una explosión, independientemente de si se trata de deflagración o detonación, salvo que la explosión comprometa la posibilidad de originar una BLEVE en un tanque colindante.

Evaluación Preliminar

- Comprobar la existencia de heridos, y la presencia de personas ajenas a las labores de contra incendios en el área.
- Identificar el tipo de estructura que está sometido al fuego, pudiendo tratarse de tanques esféricos, de tuberías de transporte de GLP o ambas, además se debe considerar si el fuego esta afectando a las estructuras soporte de los tanques de almacenamiento, teniendo en cuenta la resistencia al fuego de cada una de estas, siendo .

- Examinar la cantidad de GLP que tienen el recipientes involucrados en el incidente, estos datos pueden obtenerse del sistema del área de movimiento de productos.
- Evaluar cuantos y cuales recipientes más pueden estar comprometidos.
- Proyectar la dirección posible de los trozos del recipiente en caso de BLEVE.
- Considerar la parte del recipiente que está sometida al calor (superior o inferior).

Condiciones Modificativas

- Lugar: donde ocurre la emergencia el escenario del incidente
- Tiempo: Hora del día, Día de la semana, Tiempo transcurrido desde que tuvo lugar la inflamación del tanque o cilindro. La hora y el día de la semana pueden ser favorables o desfavorables (Día: Buena visibilidad pero tráfico denso, observadores numerosos, etc., Noche: poca visibilidad, tráfico libre, menos observadores). Es muy importante el tiempo transcurrido, la posibilidad de producirse una explosión o una BLEVE aumenta a medida que transcurre el tiempo.
- Clima: Temperatura, velocidad y dirección del viento, precipitaciones, etc.
- Perdidas Potenciales: Vidas, Equipos, Propiedades, Daños a terceros

Medidas de Control

- Recursos inmediatos disponibles
- Número de efectivos
- Dimensión y sofisticación de la extinción
- Operaciones de rescate
- Control de tráfico

- Comunicaciones
- Cantidad, tipo y accesibilidad de los agentes de control (bombas contra incendio, suministro de agua, monitores, ayuda técnica, equipo médico, oficinas de emergencia nacional y agencias de ayuda en desastres y control policial)

Toma de Decisiones

- Acciones Correctoras: se toman para resolver problemas inmediatos
- Acciones Preventivas: se toman para prevenir que aumente el problema inmediato.

Objetivos y Tácticas

- Rescate de personas heridas o en peligro: Utilizando el menor personal posible y con la mayor protección, intentar rescatar a aquellas personas que obviamente no se encuentran inaccesibles y sin someter a nadie a riesgos que no sean necesarios. La evacuación del área potencial en peligro requiere que se haga en el menor tiempo posible y que se asegure el área para evitar la entrada de personas.
- Prevención de fallo del recipiente: De ser posible enfriar el contenedor con monitores sin personal (o automáticos) y/o activando rociadores automáticos (rociadores del tanque). Si el tiempo de exposición del cilindro a las llamas es mayor de 5 minutos en contenedores grandes, se deberá evacuar a toda persona de las instalaciones, retirar al personal de contra incendios y prepararse para la explosión y la correspondiente bola de fuego.
- Extinguir las llamas y a la vez controlar la fuga: Si es completamente factible controlar la fuga, pero se requiere de algún tiempo y si el tiempo transcurrido no es prolongado, es posible extinguir las llamas e iniciar el proceso de control de la fuga.

PRIMEROS AUXILIOS

- Es necesaria la presencia de un médico cuando se presenten síntomas atribuibles a la inhalación del gas o efecto de los gases o de líquido sobre la piel o los ojos.
- Descongelar con agua las partes del cuerpo congeladas por el líquido. Luego separar cuidadosamente los trozos de la ropa.
- Abrigar y proteger al paciente contra la pérdida de calor.
- En caso de quemaduras se debe refrescar inmediatamente las partes de piel afectada con agua fría, durante tanto tiempo como sea posible. Llamar a un médico.
- Siempre que sea posible comunicar al médico el nombre químico del producto para que proporcione el adecuado tratamiento.

CAPITULO VII :

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. La normativa Peruana referida a la Seguridad Industrial en el Sector Hidrocarburos considera que debe tenerse en cuenta los estándares más exigentes, como las normas de la Asociación Nacional de Protección Contra Incendios de los EE.UU. - NFPA en lo que respecta a protección contra el fuego; indicando que a falta de estándares o normas nacionales, se apliquen las normas internacionales reconocidas vigentes de mayor exigencia.
2. Los estándares referenciales para el diseño y construcción de las áreas de proceso, así como de los tanques de almacenamiento de hidrocarburos, son las normas Instituto Americano del Petróleo - API y Asociación Americana de Prueba de Materiales - ASTM.
3. Durante el desarrollo del presente trabajo de tesis se ha podido constatar que no existe a disposición del público una base de datos nacional con información relativa a accidentes industriales (incendios y /o explosiones) en ninguna de las entidades reguladoras del estado; solo se puede tener información relativa a accidentes con consecuencias de lesiones incapacitantes; o se cuenta con información incompleta en las empresas de seguros. En último caso la información de este tipo es manejada en forma interna en las mismas empresas.
4. Al producirse una fuga de Gas Licuado de Petróleo el evento más probable es una Emisión Puntual (56.25%) y el menos probable es la UVCE (3.13%). De manera similar el evento que produciría daños severos en un área mayor sería la BLEVE mientras que el fuego de charco lo haría en un área menor.
5. Se puede determinar que son más peligrosas las fugas que se producen en forma continua, considerando como tales a las que tienen una duración prolongada (mayor a 10 minutos) y las que se producen mas próximas al nivel del suelo, por tratarse de un gas más pesado que el aire y debido a las condiciones meteorológicas de la zona, lo cual da como resultado una mayor área de riesgo.

6. Para determinar la magnitud de los daños que pueden ocasionar los diferentes eventos posibles se han utilizado metodologías para el análisis de riesgos que están basadas en el desarrollo de modelos matemáticos y estadísticos, para aproximar la magnitud de los efectos físicos (onda de sobrepresión, efecto térmico, etc.) de los accidentes industriales.
7. Actualmente se están elaborando una serie de dispositivos legales y normativos en el Sector Hidrocarburos para reglamentar el uso del gas proveniente de Camisea, motivo por el cual se hará necesario que se establezca una metodología adecuada para el análisis de los riesgos inherentes al uso de este producto, tanto en los ambientes industriales como domésticos.
8. Las medidas de prevención propuestas en el presente estudio, por su importancia, son las que deben impulsarse con mayor énfasis. Estas medidas representarán un mayor costo en su implementación y, en la mayoría de casos, requieren de modificaciones importantes en la organización y en la cultura del personal de la empresa, por lo cual es importante la capacitación y motivación al personal.

CAPITULO VIII :

RECOMENDACIONES

RECOMENDACIONES

1. La normativa legal del Sector Hidrocarburos pueden incluir la obligatoriedad de realizar análisis de riesgos a sus instalaciones, con el propósito de determinar las medidas de prevención y control contra incendios y explosiones que sean las más idóneas, tales como: la instalación de barreras de protección, determinación de los requerimientos de la red de agua contra incendios, capacitación y entrenamiento a las brigadas respectivas de acuerdo a los escenarios de riesgos identificados, elaboración de estrategias para el control de las diferentes situaciones de emergencia que se pueden presentar en la empresa.
2. Las empresas deberán realizar un diagnóstico y un análisis de riesgos para determinar los niveles de riesgos a los que están expuestos, y así proponer planes y programas para la implementación de las medidas preventivas y de mitigación mas adecuadas para cada caso particular.
3. El Plan de Emergencias, Incendios y Desastres propuesto presenta estrategias a aplicarse en las posibles emergencias y lineamientos base para elaborar planes mas específicos para atender cada situación de riesgo en la empresa.
4. Las labores de mantenimiento preventivo y correctivo deben seguir un programa de acuerdo a los requerimientos de los dispositivos operativos de la planta, y a las indicaciones proporcionadas por los fabricantes de cada dispositivo electrónico o mecánico que se opera en la empresa.
5. Instalar sistemas de cierre de emergencia que detienen todos los procesos operativos de producción en la empresa, para evitar riesgos que incrementen la severidad en caso de incendios y explosiones. Estos sistemas, de acción manual o automática, deben encargarse de cerrar compresores y bombas, y de cerrar o abrir (según sea el caso) válvulas de ajuste rápido de acción automática.

6. Para el diseño e instalación de los elementos de seguridad de contra incendios se deben tener en cuenta los estándares establecidos por los entes normativos tales como la NFPA, ASTM, API, entre otros.
7. La adopción de las medidas preventivas y de control descritas en este estudio, las cuales requerirán una reingeniería del proceso y representarán una inversión importante, debido a su magnitud necesitarán un estudio más amplio y específico que determine los costos de inversión para los cambios de tecnología, la implementación de nuevos dispositivos y el acondicionamiento de algunos procedimientos, teniendo en cuenta como beneficio de la implementación de las mismas el control de las pérdidas que se podrían generar como consecuencia de un accidente industrial.
8. Basado en las estimaciones del alcance de los efectos físicos de los incendios y explosiones se deben elaborar los planes de contingencia que incluyan la concientización a la población cercana así como su entrenamiento, capacitación y organización para casos de emergencias.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manual de Protección Contra Incendios – NFPA – MAPFRE – 1987
2. Manual de Seguridad en Plantas Químicas y Petroquímicas. Fundamentos, Evaluación de Riesgos y Diseño – Storch de Gracia – McGraw Hill – 1998
3. Comercialización del Gas Licuado de Petróleo en el Perú – Hernan Martín Barriga Veliz – 2002
4. NTP 321.007 - Gas Licuado de Petróleo (GLP) - Requisitos – Indecopi – 1998
5. El GLP como alternativa a los combustibles líquidos en el sector industrial – Carmela Alvarado / Roxana Aparicio / Carmen Huaman – 1990
6. Proyecto de Instalación de un Planta de Envasado de GLP en Tarma – Bernardo Ureta Martel – 1997
7. NFPA 10, 13, 15, 58, 59, 69, 325.
8. Reglamento de Seguridad para Instalaciones y Transporte de GLP – D.S. N° 27–94–EM (17/05/94)
9. NFPA 921: Guía para las investigaciones de incendios y explosiones – Edición 1995 – Editorial MAPFRE
10. Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales – Joaquín Casal / Helena Montiel / Eulalia Planas / Juan Vilchez – 2001
11. Aplicación de la legislación sobre accidentes graves de origen químico en un proyecto industrial - Tomás Briñas Martínez - 2003
12. Una nueva metodología para la predicción de la gravedad de los Accidentes Industriales aplicando el Análisis Histórico – Sergio Carol Llopart – 2001
13. API 2510A – Fire-Protection Considerations for the Design and Operation of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Storage Facilities – 1996
14. API 2510 – Design and Construction of LP-Gas Installations at Marine and Pipeline Terminals, Natural Gas Processing Plants, Refineries, Petrochemical Plants, and Tank Farms – 1978
15. Bases de datos del Centro de Documentación - Fundación MAPFRE Estudios – 2004 – <http://www.mapfre.com>
16. Análisis de riesgos ambientales y aplicación al diseño de instalaciones industriales – Juan Vilchez Sánchez; Xavier Pérez-Alavedra – 2001
17. Control de Riesgos de Accidentes Mayores – Manual Práctico – Oficina Internacional del Trabajo – OIT – 1990