

0052/  
15



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

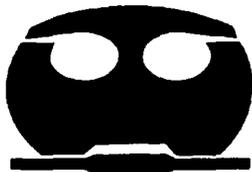
---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**"EVALUACIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS EN  
EL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP EN  
LA REFINERÍA FRANCISCO I. MADERO  
EN CD. MADERO, TAMAULIPAS"**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO  
P R E S E N T A :  
RAÚL GUSTAVO ÁVILA GÓMEZ**



**MÉXICO, D.F.**



**EXÁMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUÍMICA**

**2003**

A



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# **PAGINACIÓN DISCONTINUA**

## JURADO ASIGNADO:

<b>Presidente</b>	<b>José Antonio Ortiz Ramírez</b>
<b>Vocal</b>	<b>Jaime Medina Oropeza</b>
<b>Secretario</b>	<b>Modesto Javier Cruz Gómez</b>
<b>1er Suplente</b>	<b>Jesús Arturo Butron Silva</b>
<b>2do Suplente</b>	<b>Eduardo Vivaldo Lima</b>

## SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA

- Refinería Francisco I. Madero, Cd. Madero, Tamaulipas
- Laboratorio E-212, Facultad de Química, UNAM.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas •  
UNAM a difundir en formato electrónico e impr.  
contenido de mi trabajo recepcionado.

NOMBRE: Raúl Gustavo  
Ávila Gómez  
FECHA: 1/Abril/03  
FIRMA: [Firma]

Asesor

[Firma]  
Dr. Modesto Javier Cruz Gómez

Sustentante

[Firma]  
Raúl Gustavo Ávila Gómez

## *Dedicatorias*

*A Dios por todo lo que nos brinda a diario*

*A mi padre (+) y a mi hermana Hilda (+) porque  
siguen siendo una luz que nos ilumina*

*A mi madre por su gran amor y a toda mi  
familia por toda su confianza y apoyo*

*A todos mis amigos por esos momentos,  
que hacen más agradable la vida*

*A todos los compañeros del CEASP<sup>A</sup>  
porque con su esfuerzo han formado  
un magnífico grupo de trabajo*

*A la UNAM por la formación  
académica y desarrollo personal*

*Al Dr. Javier Cruz por permitirme formar  
parte de un equipo que día a día, con su  
trabajo se propone dejar en alto el nombre de  
la Universidad*

*Al Ing. Antonio Ortiz por ser un gran maestro,  
pero sobre todo una excelente persona*

*A PEMEX y a los ingenieros del Sector 6 de la Refinería  
Fco. I. Madero por su apoyo y la oportunidad de  
continuar mi formación fuera de las aulas.*

*Son muchas las personas a quien quisiera agradecer en forma particular, espero se reconozcan en estas breves líneas, gracias por su comprensión.*

*Throughout my life I have gained more from my critic friends than from my admirers, especially when the criticism was made in courteous and friendly language.*

**Mahatma Gandhi**



## Índice

	Pág.
1.- Introducción .....	1
2.- Antecedentes teóricos .....	3
2.1 Diferencia entre peligro y riesgo .....	3
2.2 Evaluación de riesgos .....	3
2.2.1 Definición .....	4
2.2.2 Objetivos y aplicaciones .....	4
2.3 Administración de riesgos .....	5
2.3.1 Definición .....	6
2.3.2 Generalidades de los sistemas de administración de la seguridad de los procesos químicos .....	6
2.3.2.1 Administración .....	7
2.3.2.2 Enfoque de sistemas .....	8
2.3.2.3 Parámetros de medición de riesgos .....	9
2.3.2.4 Criterios de tolerancia .....	10
2.4 Administración de riesgos y seguros .....	11
2.5 Antecedentes de los sistemas de administración de riesgos .....	12
2.6 Programas de administración de riesgos .....	15
2.6.1 Identificación de peligros .....	16
2.6.2 Descripción de las metodologías de identificación de peligros .....	16
2.6.2.1 Inspección de seguridad .....	16
2.6.2.2 Jerarquización relativa .....	16
2.6.2.3 Evaluación preliminar de riesgos .....	17
2.6.2.4 ¿Qué pasa si? .....	17
2.6.2.5 ¿Qué pasa si?/Lista de verificación .....	17
2.6.2.6 Análisis de riesgos y operabilidad .....	18
2.6.2.7 Análisis de efectos del modo de falla .....	18



2.6.2.8	Árbol de fallas .....	18
2.6.2.9	Árbol de eventos .....	19
2.6.2.10	Análisis de causa-consecuencia .....	19
2.6.2.11	Análisis de fiabilidad humana .....	19
2.6.3	Análisis comparativo entre las distintas metodologías .....	19
2.6.4	Análisis de consecuencias .....	21
2.6.4.1	Clasificación de los modelos de estimación de consecuencias. ....	22
2.6.4.2	Modelos fuente .....	22
2.6.4.3	Modelos de dispersión .....	23
2.6.4.4	Modelos de explosiones e incendios .....	27
2.6.4.4.1	Tipos de explosiones .....	28
2.6.4.4.1.1	Explosiones de nubes de vapor no confinadas .....	28
2.6.4.4.1.2	Explosiones de nubes de vapor confinadas .....	29
2.6.4.4.1.3	Explosiones por la evaporación de un líquido en ebullición .....	29
2.6.4.4.1.4	Explosiones físicas .....	30
2.6.4.4.2	Tipos de incendios .....	30
2.6.4.4.2.1	Ráfaga de fuego .....	31
2.6.4.4.2.2	Bola de fuego .....	31
2.6.4.4.2.3	Dardo de fuego .....	31
2.6.4.4.2.4	Incendios o fuegos en charcos .....	31
2.6.4.5	Modelos de efectos .....	33
2.6.5	Toma de decisiones y control de riesgos .....	33
2.6.6	Procedimientos .....	33
2.6.7	Entrenamiento .....	35
2.6.8	Planes de respuesta a emergencias .....	36
2.6.9	Investigación de incidentes .....	37
2.6.10	Auditorias .....	37
2.7	Administración del peligro en los procesos .....	38



2.7.1	Generalidades .....	38
2.7.1.1	Propósito .....	38
2.7.1.2	Objetivo, sistemas de administración y principios .....	38
2.7.1.2.1	Objetivo y sistemas de administración .....	38
2.7.1.2.2	Principios .....	39
2.7.1.3	Alcance .....	39
2.7.1.3.1	Aplicaciones .....	39
2.7.1.3.2	Aplicabilidad de las prácticas recomendadas .....	39
2.7.1.4	Definiciones .....	40
2.7.1.5	Referencias a publicaciones anteriores .....	40
2.7.2	Información de la seguridad del proceso .....	40
2.7.2.1	Generalidades .....	40
2.7.2.2	Información de la seguridad del proceso .....	40
2.7.2.2.1	Información del diseño del proceso .....	40
2.7.2.2.2	Recopilación de información .....	40
2.7.2.3	Información del diseño mecánico .....	40
2.7.2.3.1	Contenido .....	40
2.7.2.3.2	Consistencia con normas y códigos .....	41
2.7.2.3.3	Recopilación de información .....	41
2.7.2.4	Conocimiento de los operadores .....	41
2.7.3	Análisis de peligros del proceso .....	41
2.7.3.1	Aplicación .....	41
2.7.3.2	Metodología .....	41
2.7.3.2.1	Generalidades .....	41
2.7.3.2.2	Identificación .....	41
2.7.3.2.3	Evaluación .....	41
2.7.3.2.4	Alternativas .....	41
2.7.3.3	Análisis inicial .....	41
2.7.3.4	Análisis periódicos .....	42
2.7.3.5	Equipo encargado del análisis .....	42
2.7.3.6	Reporte del análisis .....	42



2.7.4	Administración del cambio .....	42
2.7.4.1	Generalidades .....	42
2.7.4.2	Tipos de cambio .....	42
2.7.4.2.1	General .....	42
2.7.4.2.2	Cambio en la tecnología .....	42
2.7.4.2.3	Cambios en la instalación .....	43
2.7.4.3	Manejo del cambio .....	43
2.7.5	Procedimientos de operación .....	44
2.7.5.1	Contenido de los procedimientos .....	44
2.7.5.2	Realización de los procedimientos de operación .....	44
2.7.5.3	Revisión periódica .....	45
2.7.6	Prácticas seguras .....	45
2.7.6.1	Generalidades .....	45
2.7.6.2	Desempeño seguro de actividades de trabajo .....	45
2.7.6.3	Control de materiales .....	45
2.7.7	Entrenamiento .....	45
2.7.7.1	Generalidades .....	45
2.7.7.2	Entrenamiento inicial .....	46
2.7.7.3	Entrenamiento periódico .....	46
2.7.7.4	Comunicación de cambios .....	46
2.7.7.5	Documentación .....	46
2.7.8	Aseguramiento de la calidad de la integridad mecánica del equipo crítico .....	46
2.7.8.1	Fabricación .....	46
2.7.8.2	Instalación .....	46
2.7.8.3	Sistemas de mantenimiento .....	46
2.7.8.4	Pruebas e inspección .....	47
2.7.9	Revisiones previas al arranque .....	47
2.7.10	Control y respuesta de emergencia .....	48
2.7.10.1	Centro de control de emergencias .....	48
2.7.11	Investigación de incidentes .....	48
2.7.11.1	Generalidades .....	48



2.7.11.2 Investigación de incidentes .....	48
2.7.11.3 Seguimiento .....	48
2.7.12 Auditorias a los sistemas de administración de riesgos .....	49
2.7.12.1 Generalidades .....	49
2.7.12.2 Reporte de las auditorias .....	49
2.8 SIASPA .....	49
2.8.1 Objetivo .....	49
2.8.2 Estrategia de seguridad y protección ambiental de PEMEX .....	49
2.8.2.1 Visión .....	50
2.8.2.2 Principios claves .....	50
2.8.3 Implantación .....	51
2.8.4 Panorama general del SIASPA .....	51
3.- Trabajo de campo .....	54
3.1 Descripción del área de almacenamiento de gas LP .....	54
3.2 Técnicas utilizadas en el análisis de riesgos .....	57
3.2.1 Análisis HazOp .....	57
3.2.2 Análisis de árbol de fallas .....	62
3.2.3 Análisis de árbol de eventos .....	65
3.3 Nodo #1 .....	69
3.4 Nodo #2 .....	79
3.5 Nodo #3 .....	84
3.6 Análisis de consecuencias utilizando el programa PHAST .....	95
3.6.1 Principales modelos utilizados por PHAST .....	95
3.6.1.1 Fuente de emisión a partir de un recipiente o tubería .....	95
3.6.1.2 Fuente de emisión definida por el usuario .....	96
3.6.1.3 Modelo de dispersión unificado .....	96
3.6.2 Parámetros .....	97
4.- Resultados y conclusiones .....	99
4.1 Recomendaciones a partir del análisis HazOp .....	99
4.2 Acciones consideradas como buenas prácticas de mantenimiento y operación.....	104
4.3 Análisis de resultados .....	104



---

4.4 Conclusiones .....	105
Apéndice A .....	107
Apéndice B .....	108
Glosario .....	110
Bibliografía .....	112



## Índice de figuras

	Pág.
2.1 Actividades que garantizan la permanencia en el largo plazo de una empresa	6
2.2 Modelo de sistemas de una organización .....	9
2.3 Evaluación y administración de riesgos .....	10
2.4 Análisis de consecuencias .....	24
2.5 Modelos de dispersión respecto al aire .....	25
2.6 Modelos de dispersión de nubes tóxicas y/o inflamables .....	26
2.7 Escape, incendio, calentamiento de recipientes, explosión (BLEVE) y formación de la bola de fuego .....	32
2.8 Estrategia de seguridad y protección ambiental de PEMEX .....	50
2.9 Beneficios de la implantación del SIASPA .....	53
3.1 Matriz de riesgos .....	61
3.2 Simbología utilizada en la construcción de un árbol de fallas .....	63
3.3 Cálculo de probabilidades de la puerta lógica "Y" .....	64
3.4 Cálculo de probabilidades de la puerta lógica "O" .....	64
3.5 Árbol de eventos .....	66
3.6 Diagrama de flujo del análisis de árbol de eventos .....	67
3.7 Procedimiento de cálculo de una fuga instantánea .....	98
3.8 Procedimiento de cálculo de una fuga continua .....	98



## Índice de tablas

	Pág.
2.1 Aplicación de las técnicas de análisis en las diferentes etapas de una planta	20
2.2 Tipo de estabilidad basado en la velocidad del viento y la radiación solar .....	22
3.1 Descripción de tanques esféricos .....	54
3.2 Descripción de tanques horizontales .....	55
3.3 Ubicación de las bombas .....	55
3.4 Síntesis de las operaciones efectuadas en el patio oriente .....	57
3.5 Palabras guía y parámetros de proceso .....	58
3.6 Niveles de riesgo con respecto a la frecuencia .....	60
3.7 Niveles de riesgo con respecto a la gravedad .....	61
3.8 Relación entre el tipo de fuga y modelos de consecuencias empleados .....	97



## Lista de diagramas

- 2.1 Efectos de explosiones
- 3.1 Localización de tanques en el área de almacenamiento de gas LP
- 3.2 Diagrama de bloques de las actividades efectuadas en el sector 6
- 3.3 Nodo #1 Tanque horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y recibo
- 3.4 Nodo #2 Succión del tanque MJA-T-234 a bombas MJA-P-204 y 205
- 3.5 Nodo #3 Succión del tanque MJA-T-233 a bombas MJA-P-200 a terminal marítima
- 3.6 Árbol de fallas: fuga en una línea que contiene butano
- 3.7 Árbol de eventos: consecuencias potenciales a partir de la fuga de gas inflamable licuado a presión
- 3.8 Efectos de la explosión de una nube de vapor no confinada de la mezcla butano/butileno



## 1. Introducción

La seguridad de los procesos no es un tema nuevo ya que los accidentes como incendios y explosiones han estado presentes desde el inicio mismo de la industria petroquímica, lo que ha cambiado es la forma de llevarla a cabo, pues en la actualidad se utilizan métodos sistemáticos para la identificación de peligros a las personas, a las instalaciones y al ambiente; los riesgos aumentan como consecuencia del aumento en el número de plantas y en el tamaño de las plantas, en algunos casos debido al incremento de la población expuesta en caso de ocurrir un accidente. Si bien los riesgos convencionales en una planta industrial (caídas, empleo de corriente eléctrica, maquinaria y fuentes motrices) en general son inevitables es necesario considerar un estudio para evaluar en forma cuantitativa los riesgos específicos de una planta de proceso (manejo de sustancias tóxicas y/o inflamables, condiciones críticas de proceso, gases licuados a presión, etc.), las consecuencias producidas, crear una jerarquía de riesgos y determinar prioridades, fijar límites al riesgo tolerable y detectar puntos débiles en la organización que incidan en la probabilidad de un accidente.

En el ámbito mundial tuvieron que ocurrir varios accidentes con graves consecuencias, afectando no solo a personal de las plantas sino también a la población aledaña, para que organismos y autoridades emitieran normas y leyes para impedir la ocurrencia de más accidentes. Si bien el marco normativo ha influido en la toma de decisiones en materia de seguridad, más trascendente ha sido la propia percepción de la industria de que la seguridad es parte fundamental para su permanencia. Por otra parte la sociedad cada vez más informada, rechaza nuevos riesgos.

El esfuerzo por parte de diferentes organismos, tanto industriales como académicos, para aumentar la seguridad en las plantas químicas ha hecho énfasis en la necesidad de contar con un sistema de administración de la seguridad que garantice el seguimiento de procedimientos de operación, entre otras medidas y reducir así la probabilidad de accidentes mayores. La empresa paraestatal Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha sufrido graves accidentes y preocupada porque estos no se repitan, ha emitido documentos internos como el manual SIASPA (Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección al Ambiente) como una respuesta a la necesidad de establecer una administración de riesgos que abarque los lineamientos de seguridad agrupados en tres grandes grupos: factor humano, métodos de trabajo e instalaciones.



En el presente trabajo se describen los principales elementos de un sistema de administración de la seguridad de un área de proceso. Se hace énfasis en la identificación de peligros y el análisis de consecuencias. Posteriormente se revisa un programa elaborado por el Instituto Norteamericano del Petróleo (API, por sus siglas en inglés). El trabajo en campo se desarrollo en el área de almacenamiento de gas LP de la refinería Francisco I. Madero, llevándose a cabo las siguientes actividades:

- Descripción del área.
- Recopilación de información
- Levantamiento y actualización de Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's)
- Análisis HazOp
- Análisis de árbol de fallas y árbol de eventos
- Análisis de consecuencias

Con estas actividades se pretenden resolver las preguntas ¿Qué puede salir mal y por qué? (Identificación de peligros), además ¿Qué tan probables son? y ¿Cuál sería la gravedad si llegaran a ocurrir? (Evaluación de riesgos); y por último una muy importante ¿Qué podemos hacer al respecto? (Control y administración de riesgos). Lo anterior pone de manifiesto la importancia de considerar un análisis de riesgos, no como un evento aislado, sino dentro de un proceso continuo que dé seguimiento a las medidas recomendadas, mantenga la documentación actualizada (diagramas, procedimientos), todo ello con la finalidad de hacer de esta área un lugar de trabajo más seguro.



## 2. Antecedentes teóricos

Todo análisis de riesgos debe comenzar por identificar los peligros presentes dentro de sus instalaciones de proceso; pues un riesgo no identificado no puede ser analizado. En el lenguaje común se suelen emplear riesgo y peligro como palabras de significado similar. Sin embargo es necesario hacer notar algunas diferencias entre ambas palabras.

### 2.1 Diferencia entre peligro y riesgo

En la introducción se utilizaron las palabras peligro y riesgo, si bien ambas suelen referirse a algo como indeseable, es conveniente hacer unas precisiones <sup>(14)</sup>

**Peligro (hazard):** se utiliza para designar una condición física o química que puede causar daños a las personas, el ambiente o las instalaciones.

**Riesgo (risk):** indica la posibilidad de sufrir pérdidas, esto es una medida del daño, expresada en términos de la probabilidad del evento y la magnitud de las consecuencias.

Si bien, se ha tratado de seguir el empleo de las anteriores definiciones en este trabajo, en algunos casos es el uso común en la literatura el que se ha impuesto. Para el caso de HazOp, se emplea como análisis de riesgos ya que en él se involucra la probabilidad de los eventos y sus consecuencias en forma cualitativa, aunque traducido en forma literal sería estudio de peligros y operabilidad

### 2.2 Evaluación de riesgos<sup>(12)</sup>

El creciente interés en la evaluación de riesgos no se debe a que eliminen incertidumbres o riesgos, más bien, la ventaja clave de la evaluación de riesgos es que proporciona un marco sistemático basado en principios científicos para comprender y administrar diversos riesgos, en otras palabras, proporciona guías para la aplicación de recursos monetarios en la protección de la salud pública y el medio ambiente.

Así la evaluación y administración de riesgos se refieren a la toma de decisiones (qué riesgos de salud pública o seguridad exigen mayor o menor atención). Todas estas decisiones requieren una mejor comprensión de la naturaleza de los riesgos y juicios relativos a riesgos "aceptables". Todos requieren comparaciones entre el actuar y el no actuar; entre distintos riesgos a la salud, a la seguridad y a la ecología; entre tecnologías y métodos alternativos.



Para que sean efectivas, las decisiones de administración de riesgos deben incluir criterios de costo-beneficio, alternativas tecnológicas y valores sociales. Las decisiones de evaluación y administración de riesgos no son sencillas e involucran un equilibrio entre conocimientos técnicos, economía y seguridad pública.

### **2.2.1 Definición**

Evaluación de riesgos puede definirse como el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra y la magnitud probable de los efectos adversos de un acontecimiento. En otras palabras se centra en la identificación de peligros y análisis de consecuencias.

Todas las evaluaciones empiezan por una identificación del peligro o definición del problema. Una vez que se definen los peligros, el siguiente paso es identificar potenciales poblaciones receptoras.

En el análisis de riesgos a la seguridad, los puntos finales están bien definidos: muertes, heridas y pérdidas económicas. El impacto es inmediato y transparente; la relación causa-efecto es clara en términos generales y el tiempo de respuesta es crítico.

Aunque lo que se pretende es la evaluación cuantitativa de riesgos, las evaluaciones de riesgos cualitativas con frecuencia pueden desempeñar un papel útil para propósitos de revisión.

### **2.2.2 Objetivos y aplicaciones<sup>(3)</sup>**

La razón fundamental de la evaluación de riesgos es decidir la necesidad y la naturaleza del control de riesgos.

**Ventajas:** los criterios de riesgos proporcionan un marco de referencia efectivo para asignar prioridades a los problemas, asignar recursos y reducir riesgos. A partir de los resultados de los análisis de riesgos se pueden asignar recursos para la prevención, remedio o control de riesgos.

**Limitaciones:** el escaso número de profesionales que tengan una amplia capacitación y la perspectiva necesaria para trascender el enfoque de "libro de recetas" y concentrarse en los problemas críticos. La magnitud de la incertidumbre y los diversos aspectos de un análisis de riesgos en ocasiones tienden a distraer la atención del objetivo primordial: seguridad, salud pública y protección ambiental.

**Aplicaciones:** las evaluaciones de riesgos pueden utilizarse en una gran variedad de situaciones, por ejemplo:

- Evaluar los costos y beneficios de los reglamentos existentes y propuestos.



- Realizar un análisis de las condiciones de operación de una instalación de proceso para determinar la necesidad de acciones correctivas.
- Evaluar tecnologías existentes y nuevas para una prevención efectiva, control o mitigación de peligros y riesgos.
- Proporciona una base para la reducción de riesgos desde perspectiva global y para la puesta en marcha de un programa de administración.

La evaluación de peligros se emplea para señalar los puntos débiles en el diseño y operación del proceso que pudieran guiar a fugas accidentales, incendios o explosiones. La evaluación de peligros es la piedra angular de un programa de administración de la seguridad, pues un peligro no identificado, no puede ser controlado.

### 2.3 Administración de riesgos

En los últimos años ha habido un aumento en la tendencia de institucionalizar los programas de administración de riesgos en las industrias de proceso. Este incremento se debe a una variedad de factores que incluyen:

- i. La ocurrencia de accidentes industriales mayores.
- ii. Una legislación más estricta e iniciativas para regular la seguridad de los procesos químicos.
- iii. La publicación y evolución de programas de administración de riesgos por varias organizaciones industriales.

Quizá sea más significativo, el hecho de la propia percepción de las empresas que ven en el largo plazo una operación más segura, como un mejor desempeño de la empresa y mejores relaciones con la comunidad y dependencias reguladoras.

La evolución de la seguridad requiere un enfoque administrativo para garantizar una mejora continua en la seguridad del proceso. Si bien la seguridad no es un fin en sí misma se encuentra en uno de los vértices de la pirámide de la empresa que le permitirán asegurar su permanencia en el largo plazo (ver Fig. 2.1).

Para lograr cumplir con tales objetivos, se requieren cambios en el enfoque de la gerencia, para resolver en forma conjunta los problemas, tratando de eliminar los puntos en conflicto, trabajando con los diferentes departamentos involucrados, buscando la correcta interacción entre estos. Tales esfuerzos deben abarcar todos los niveles de la empresa.



Fig. 2.1 Actividades que garantizan la permanencia en el largo plazo de una empresa

### 2.3.1 Definición

La administración de riesgos enfocada a la seguridad es la aplicación de los principios de administración y de sistemas a la identificación, comprensión y control de los riesgos del proceso con la finalidad de prevenir incidentes y daños a equipos.

### 2.3.2 Generalidades de los sistemas de administración de la seguridad de los procesos químicos

Un sistema de administración comprende varias etapas para alcanzar sus objetivos, estas son<sup>(2)</sup>:

- Planeación
- Organización
- Implementación
- Control

A continuación se enumeran las principales características de cada etapa, estas características son lo suficientemente genéricas para aplicarse a sistemas para la administración de prácticamente cualquier actividad técnica importante; sin embargo éstas tienen valor como un perfil de los principales requerimientos para un sistema de administración de riesgos.

#### Planeación

- Metas y objetivos explícitos
- Alcances del programa bien definidos
- Resultados esperados descritos claramente
- Procedimientos para evaluar logros alternativos
- Condiciones actuales bien definidas y asignación de recursos
- Identificación de herramientas necesarias y entrenamiento



**Organización**

- Fuerte soporte
- Líneas claras de autoridad
- Asignación explícita de roles y responsabilidades
- Procedimientos formales
- Coordinación interna y comunicación

**Implementación**

- Planes de trabajo detallados
- Descripción de logros a ser alcanzados (etapas del programa de cumplimiento)
- Procedimientos para la puesta en marcha del programa

**Control**

- Estándares de desempeño y procedimientos de evaluación
- Listas de verificación y elaboración de reportes
- Medidas y reporte del desempeño
- Revisiones internas
- Detección de desviaciones respecto de los planes
- Procedimientos de las auditorías
- Procedimientos de acciones correctivas
- Procedimientos de renovación y reautorización (flexibilidad de los controles)

Debemos tener claro que las anteriores actividades implican un proceso dinámico, donde se establecen metas a cumplir, se articula una metodología para alcanzar tales metas, se pone en marcha la solución planteada por la dirección y se evalúan los resultados comparándolos con las metas programadas. De acuerdo a lo realizado se elaborará un nuevo programa para superar deficiencias o modificar los alcances del programa.

Debemos resaltar la importancia de contar con un sistema de administración de la seguridad dentro de las instalaciones de proceso para asegurar la correcta aplicación de un programa de seguridad, puesto que los elementos de un programa no están aislados sino que alcanzan su mayor efectividad al integrarse con el resto.

Los sistemas de administración de la seguridad emplean herramientas de la administración y del enfoque de sistemas, revisemos pues estos conceptos:

**2.3.2.1 Administración<sup>(13)</sup>**

Es el proceso de diseñar y mantener un entorno en el que trabajando en grupos, los individuos cumplan eficientemente objetivos específicos.



### **2.3.2.2 Enfoque de sistemas <sup>(6)</sup>**

Un aspecto relevante del enfoque de sistemas es que trata de integrar las diferentes partes de una organización y se centra en las interrelaciones entre éstas. Por su parte, el enfoque tradicional consiste en aislar el problema para analizarlo, tal perspectiva impide ver a los problemas recurrentes como un síntoma de problemas mayores.

Un sistema puede definirse como un arreglo o combinación de partes o equipos para formar una unidad compleja. La importancia para la administración del enfoque de sistemas radica en dos puntos:

- a) Los miembros involucrados pretenden alcanzar los objetivos generales de la organización (eficiencia).
- b) Estos objetivos se deben cumplir en el ambiente de la organización que invariablemente involucra objetivos en conflicto.

En el contexto interno, el enfoque de sistemas se asocia con reconocer que la organización esta compuesta de un conjunto de subsistemas interrelacionados cada uno con sus propias metas. Por ejemplo lo que es mejor para producción no necesariamente es lo mejor para ventas.

#### **Sistemas y planeación**

En términos simples, el enfoque de sistemas permite a los administradores obtener una amplia fotografía del conjunto y evitar perderse en detalles ominosos.

#### **Sistemas e implementación**

La filosofía tradicional dentro de los negocios esta basada en el flujo vertical de la información y las responsabilidades estaban divididas dentro de los departamentos de la organización. Tal enfoque no le confiere la suficiente importancia a las interrelaciones dentro de la organización y su correcta integración.

#### **Un modelo de sistemas para las organizaciones**

Uno puede ver a las empresas como un sistema abierto compuesto de una colección de subsistemas que interactúan entre sí y con el entorno.

La Fig. 2.2 muestra a la empresa como un bloque que recibe recursos (entradas) y los transforma en productos (salidas).

Las flechas para las metas sugieren que estas son al mismo tiempo entradas y salidas, esto es, algunas metas pueden ser fijadas por los clientes o por regulaciones



externas; otras en cambio pueden servir para enfocar esfuerzos encaminados a lograr ciertos objetivos dentro de la misma empresa (control de calidad).

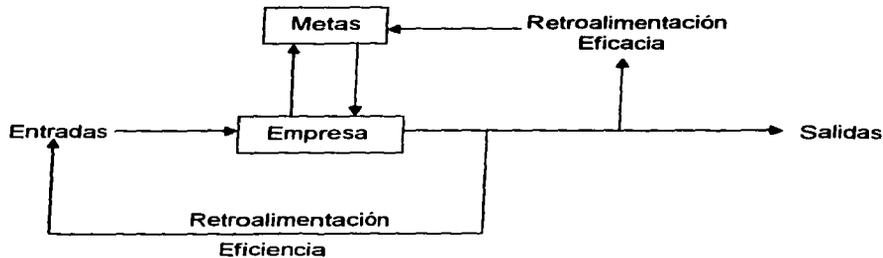


Fig. 2.2 Modelo de sistemas de una organización

En la Fig. 2.2 se muestran dos ciclos de retroalimentación. En el ciclo superior (Eficacia) se relacionan los resultados obtenidos por la compañía con respecto a las metas esperadas. En el otro ciclo (Eficiencia) se establece la comparación entre entradas y salidas, se relacionan con el rendimiento.

La administración de riesgos es el proceso de evaluar y controlar fuentes de riesgo y mitigar sus consecuencias. Una buena administración de riesgos requiere la evaluación y la decisión de si acepta o no tales riesgos y la generación de alternativas.

### 2.3.2.3 Parámetros de medición del riesgo

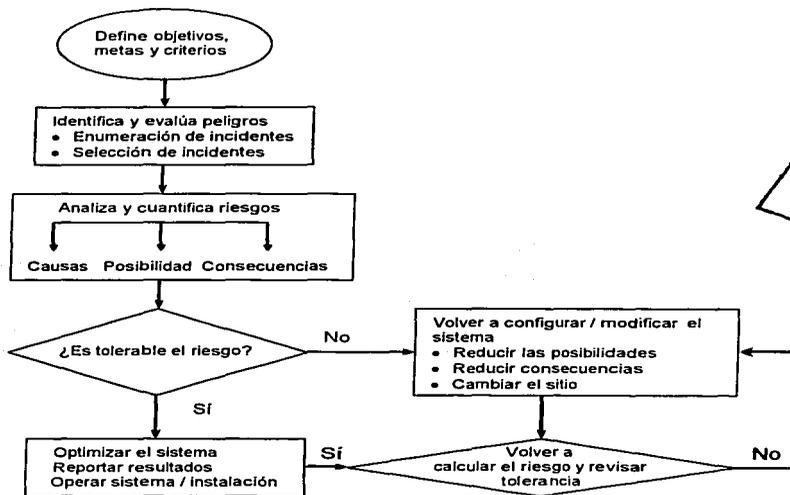
Uno de los métodos más utilizados para cuantificar, en forma breve, el riesgo de una actividad determinada es la FAR (Fatal Accident Rate) tasa de accidentes mortales, se define como el número de accidentes mortales en un grupo de 1,000 trabajadores durante toda su vida laboral (aproximadamente  $10^6$  horas-hombre).

Para comparar este riesgo con otros de la vida diaria, se pueden establecer las siguientes comparaciones, si una persona trabaja toda su vida laboral en una industria química de 1,000 operadores, morirán 4 compañeros suyos por accidente laboral, unos 20 por otros tipos de accidentes (automovilísticos, etc.) y unos 370 por enfermedad. De las muertes por accidente laboral aproximadamente el 50% se debe a riesgos convencionales y el otro 50% se debe a riesgos específicos (fugas de materiales tóxicos, incendios o explosiones).

TESIS CON  
LA FOLIO



Estos valores deben tomarse como un parámetro estadístico el cual gana significado a medida que crece el tamaño de la muestra. Con el fin de reducir la variabilidad, los analistas combinan industrias relacionadas, tales como la producción petrolera, refinación e industria química de proceso.



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2.3 Evaluación y administración de riesgos

#### 2.3.2.4 Criterios de tolerancia a los riesgos

El riesgo cero es imposible de alcanzar, por lo tanto, es obvio la necesidad de aceptar, o mejor dicho, tolerar ciertos riesgos, éstos deben mantenerse dentro de ciertos límites; esto es uno de los objetivos tanto de la industria como del gobierno de cualquier país.

Aunque resulta difícil y complejo se han realizado intentos para establecer valores de riesgos tolerable. Este es un tema delicado pues la unidad de medida, la vida



humana, da lugar a la intervención de factores no sólo de orden técnico sino también de orden ético y social.

Por lo anterior, no hay una asignación de valores generalmente aceptada, con el fin de comparar valores obtenidos a partir de análisis de riesgos, se suelen reportar valores basados en los criterios de riesgo no tolerable y riesgo despreciable. La zona intermedia corresponde a valores de riesgo tolerable aunque es deseable su control y reducción del riesgo.

Kletz<sup>(11)</sup> propone reducir prioritariamente todos aquellos riesgos derivados del proceso que ocasionen la exposición de algún trabajador a un valor FAR mayor de 2. Esto implica, como hipótesis de partida la identificación y evaluación de todos los riesgos que afecten a todos los trabajadores.

En cuanto a los riesgos para el público en general, tiene derecho a un riesgo añadido por causa de la instalación de la planta sea considerablemente inferior al de aquellos que trabajan en la planta. De acuerdo a Kletz, la frecuencia de accidentes mortales para el público en general debe ser inferior a un nivel de  $10^{-7}$  año<sup>-1</sup>. El riesgo global de muerte para un hombre joven considerando todas las causas posibles, es de aproximadamente  $10^{-3}$  año<sup>-1</sup>. Por lo que el aumento de riesgo al público en general supone un 0.01% al riesgo al que está expuesto, lo que ciertamente está muy por debajo del nivel de incertidumbre en la estimación del valor de  $10^{-3}$  año<sup>-1</sup> antes mencionado.

### 2.4 Administración de riesgos y seguros<sup>(10)</sup>

Cualquier empresa industrial debe protegerse contra pérdidas económicas derivadas de accidentes. La forma más usual de transferencia de riesgos consiste en contratar un seguro. Hay que tener en cuenta no sólo el daño causado al equipo e instalaciones de la planta, sino los costos debidos a la interrupción de la producción y los derivados de la responsabilidad civil, que pueden ser muy cuantiosos, especialmente cuando se involucren daños a personas.

La evolución del contexto económico, técnico, jurídico y social en el que operan las empresas ha acarreado un aumento del número y valor de los siniestro al que las aseguradoras no podían hacer frente en las condiciones habituales del mercado, las empresas se enfrentaban a graves problemas como: la limitación de las coberturas, concesión de las coberturas condicionadas a medidas de prevención y protección, etc.



La administración de riesgos permite englobar la protección del patrimonio de la empresa. Ha surgido un nuevo enfoque, antes se protegía contra las consecuencias financieras de un riesgo a través de un seguro; ahora la empresa interviene en forma preventiva. La administración de riesgos no se limita a obtener una compensación de las pérdidas que resulten de un siniestro, sino que tienen por objeto evitar incluso que ocurran los siniestros, o reducir los efectos de los que no hayan podido evitarse.

Con relación a la cobertura por parte de las aseguradoras, la finalidad de la administración de riesgos pueden resumirse en los siguientes puntos:

- Adquirir la visión global de los riesgos y sus consecuencias.
- Control de los riesgos.
- Administración financiera de los riesgos.
- Se trata de contribuir al reforzamiento de la posición competitiva de la empresa evaluando los costos totales de los riesgos.

Cuando sólo están en juego daños materiales, la combinación del concepto de seguro de accidentes y el análisis de riesgos permite establecer un criterio para decidir la tolerancia de un riesgo. De este modo, considerando el área de estudio en su estado actual, si el costo de las primas del seguro sea  $M$  \$/año y tras la instalación de las medidas de seguridad se reduce a  $N$  \$/año, el nivel de riesgos actual no es aceptable si el costo de las medidas de seguridad es igual o inferior a  $(M-N)$  \$/año.

Evidentemente dicho criterio es una simplificación, y las cantidades mencionadas pueden corregirse teniendo en cuenta intereses, depreciación de los equipos y costos de mantenimiento, descuentos por gastos futuros, bonificaciones adicionales por mejora de la imagen de la compañía, etc.

### 2.5 Antecedentes de los sistemas de administración de riesgos<sup>(12)</sup>

El Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos AIChE (American Institute of Chemical Engineering) establece en 1985, el Centro para la Seguridad de los Procesos Químicos, CCPS (Center for Chemical Process Safety) para desarrollar y difundir información técnica para la prevención de accidentes mayores relacionados con la industria química. Si bien, los primeros proyectos eran de naturaleza técnica, el CCPS reconoció que accidentes mayores no podían ser prevenidos sólo mediante soluciones orientadas a la tecnología. En 1987, el CCPS publica el libro "*Guidelines for the Technical Management of Chemical Process Safety*"<sup>(2)</sup> en éste se describen estrategias



a considerar por las compañías interesadas en implantar un sistema de administración para prevenir accidentes mayores, estas estrategias se plasman en un programa de 12 elementos:

- Información, objetivos y metas
- Conocimiento y documentación del proceso
- Revisión del proyecto y procedimientos de diseño
- Administración de riesgos
- Administración del cambio
- Integridad del proceso y del equipo
- Factores humanos
- Capacitación y desempeño
- Investigación de incidentes
- Estándares, códigos y normas
- Auditorias y acciones correctivas
- Fortalecimiento del conocimiento de la seguridad del proceso.

Por otro lado las autoridades preocupadas por el bienestar de trabajadores y comunidad en general emitieron leyes que demandan de las empresas el empleo de técnicas de administración de riesgos. Un ejemplo de ello es (Estados Unidos julio de 1990) la administración de la seguridad y salud ocupacional OSHA (Occupational Safety and Health Administration) propone una norma para la Administración de la Seguridad de Proceso de Materiales Altamente Riesgosos<sup>(17)</sup> (29 Code Federal Regulation Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals 1910.119). Esta norma menciona 13 puntos

- Participación de los empleados
- Información sobre la seguridad del proceso
- Análisis de peligros del proceso
- Procedimientos de operación
- Capacitación y entrenamiento
- Contratistas
- Revisiones de seguridad previas al arranque
- Integridad mecánica



- Permiso de trabajo (en especial aquellos que involucran fuentes de energía como soldadura)
- Administración del cambio
- Investigación de incidentes
- Planificación y respuesta a emergencias
- Auditorias

Otro ejemplo de autoridades preocupadas por la prevención de fugas accidentales y con la finalidad de proteger el ambiente es la USEPA (United States Environmental Protection Agency) que en el año de 1993 emitió la norma para el programa de administración de riesgos (Clean Air Act, Sec 112 (r) (7) List of Regulated Substances and Threshold for Release Prevention)<sup>(16)</sup>. Este programa consta de los siguientes elementos:

- Evaluación de peligros
- Programa preventivo
  - Sistema preventivo
  - Análisis de peligros del proceso
  - Información sobre la seguridad del proceso
  - Procedimientos de operación
  - Capacitación
  - Mantenimiento (Integridad mecánica)
  - Revisiones previas al arranque
  - Administración del cambio
  - Auditorias de seguridad
  - Investigación de incidentes
- Respuesta a emergencias
- Plan de administración de riesgos

Los anteriores son una muestra de los intentos realizados para la prevención de accidentes mayores, en Europa se cuenta con la directiva Seveso publicada en 1982 y reformada en 1984, requiere la elaboración de estudios de seguridad, cumplir requerimientos de notificación de peligros y mantener planes de emergencia; entre otras medidas esta directiva regula el embarque, etiquetado, manifestación y rastreo de



residuos peligrosos que cruzan las fronteras internas de la Comunidad Europea. La Asociación de Fabricantes de Productos Químicos (Chemical Manufacturers Association) propuso a sus miembros el Programa de Responsabilidad Integral (Responsible Care). Dicho programa fue publicado en su primera versión en 1985 y a través de casi seis años ha sido aceptado por los principales países industrializados. En este programa el código de seguridad se divide en cuatro elementos: liderazgo administrativo, tecnología, instalaciones y personal.

En México, la regulación sobre actividades industriales especialmente riesgosas comenzó en 1988 con la publicación de la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA) y su reforma en 1996. Dicha ley establece en su Art. 147 la obligación de presentar dos instrumentos básicos para la administración del riesgo: el estudio de riesgo ambiental y el programa para la prevención de accidentes (PPA)<sup>(15)</sup>.

#### 2.6 Programas de administración de riesgos<sup>(9)</sup>

En esta sección se dará una descripción de los elementos más comúnmente encontrados en un sistema de administración de la seguridad. Una unidad de proceso o servicio en una planta química requiere un sistema de administración que asegure una respuesta adecuada a riesgos identificados. Un sistema de administración de riesgos efectivo consta de un control administrativo responsable, aplicación lógica de las mejores técnicas de análisis disponibles e involucra a todo el personal.

Los elementos claves que deben incluirse en un programa de administración de riesgos incluye:

- Identificación de peligros
- Análisis de consecuencias
- Respuestas para controlar o manejar riesgos
- Procedimientos
  - Operación
  - Mantenimiento
  - Prueba e inspección
  - Administración del cambio
- Entrenamiento



- Planeación de emergencias
- Investigación de incidentes
- Auditorias.

De los anteriores elementos se centra la atención en la identificación de peligros y el análisis de consecuencias, pues se consideran el objetivo principal de este trabajo.

### 2.6.1 Identificación de Peligros

Un estudio de identificación de peligros es un esfuerzo organizado para identificar y analizar situaciones peligrosas asociadas con un proceso o actividad.

Los beneficios de una evaluación de peligros son:

- Menor número de accidentes en la vida de la planta o área de proceso.
- Reducción de las consecuencias de los accidentes que lleguen a ocurrir.
- Mejor respuesta a emergencias.
- Mejor entrenamiento y conocimiento del proceso.
- Operaciones más eficientes y productivas.
- Mejores relaciones con las comunidades y con las dependencias reguladoras.

Sin embargo estos beneficios no pueden alcanzarse sin una inversión considerable. Realizar análisis de alta calidad tampoco garantiza que los accidentes no ocurrirán. Se requiere dar seguimiento a las recomendaciones y un claro compromiso de la dirección para cumplir los objetivos. Si bien estos estudios se aplican a la posible falla de equipo o errores humanos, también pueden servir en la investigación de incidentes, la administración del cambio o para identificar equipo crítico y sus requerimientos de mantenimiento, pruebas e inspección dentro del programa de integridad mecánica.

### 2.6.2 Descripción de las metodologías de evaluación de peligros.

#### 2.6.2.1 Inspección de seguridad. (Safety Review)

Es un método que busca identificar condiciones de la planta o procedimientos de operación que puedan provocar accidentes con pérdidas significativas. Estas revisiones se efectúan durante el diseño. Los resultados son la evaluación del proceso desde el punto de vista de varios especialistas en áreas como la seguridad, la salud y la protección ambiental. Al incorporar varios puntos de vista el análisis se enriquece.

#### 2.6.2.2 Jerarquización relativa.

Se tiene como objetivo determinar las áreas u operaciones más significativas con relación a su peligro. El estudio permite a los especialistas la comparación de atributos



de diferentes procesos y actividades para determinar si tienen características peligrosas que necesitan un estudio posterior, atribuyéndoles valores numéricos (índice) representando su grado de peligrosidad.

- El Dow Fire and Explosion se emplea en instalaciones donde se trabaja con sustancias explosivas o inflamables, evaluando la existencia de peligros de incendios y/o explosiones.
- El Mond Index similar en muchos aspectos al índice Dow, incluye además aspectos de toxicidad de las sustancias.
- El Substance Hazard Index evalúa la tendencia de las sustancias para dispersarse en el aire si son liberados, afectando a las personas.

Se pueden generar operaciones matemáticas que sean sensibles a las variables del proceso tomando en cuenta las propiedades de los materiales, las condiciones del proceso, las características de diseño y construcción y actividades de operación.

#### 2.6.2.3 Evaluación Preliminar de Peligros. (Preliminary Hazard Analysis)

El propósito principal de este método es el reconocimiento temprano de los peligros. Se realiza principalmente en las primeras etapas del desarrollo de una planta y consiste en desarrollar una lista de peligros relacionados con todas las partes que constituyen el proceso.

#### 2.6.2.4 ¿Qué pasa sí? (What if Analysis)

El éxito de su aplicación depende de la experiencia de los analistas y de la información de la planta. El objetivo es analizar cuidadosamente el resultado de eventos inesperados que podrían producir consecuencias adversas, dividiendo por áreas los sistemas de estudio y examinando sus posibles desviaciones, incluyendo las variaciones en el diseño, construcción, modificaciones y operación del sistema.

El resultado de este análisis es una tabla que contiene las posibles y creíbles desviaciones encontradas al contestar la pregunta ¿Qué pasa sí? así como sus consecuencias y peligros, medidas de seguridad y recomendaciones.

#### 2.6.2.5 ¿Qué pasa sí? /Lista de verificación (What if /Checklist Analysis)

Esta metodología combina la creatividad del ¿Qué pasa sí?, con el orden y estructura de la lista de verificación. Se emplea para analizar los efectos potenciales y significativos de accidentes de una manera general.



Esta técnica da como resultado una lista de las áreas con problemas dentro del proceso estudiado y una tabla que contiene las posibles y creíbles desviaciones del sistema, así como sus consecuencias o peligros, medidas de seguridad y recomendaciones.

#### **2.6.2.6 Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp Analysis)**

Busca examinar de manera sistemática toda posible desviación de las condiciones de operación, buscando las causas y posibles consecuencias de cada desviación. Este análisis debe ser realizado por un grupo multidisciplinario de personas con experiencia en las diferentes áreas (operación, mantenimiento, instrumentación y seguridad).

El estudio se centra en puntos específicos del proceso y operación, llamados nodos de estudio y se realiza aplicando la combinación de una serie de palabras guía con parámetros de proceso que sean aplicables al objeto de estudio. Los resultados se expresan de forma tabular anotando el número de identificación del equipo o línea, la desviación (palabra guía + variable de proceso), causas, consecuencias, mecanismos de protección existentes o recomendados y las acciones para corregir la falla.

#### **2.6.2.7 Análisis de efectos del modo de falla (FMEA Failure Mode and Effect Analysis)**

El objetivo de esta metodología es evaluar las formas en que los equipos pueden fallar (o ser operados inadecuadamente) y sus consecuencias para el proceso, identificando las fallas individuales que pueden contribuir o conducir a un accidente. El analista debe elaborar una lista de todos los modos de falla que pudiesen presentar cada componente (válvulas, bombas, línea, etc.) de los sistemas, y considerar las situaciones (incrustaciones, taponamiento, falta de mantenimiento, etc.) que alteren la operación normal. El resultado es una tabla donde se listan los componentes con su número de identificación los posibles modos de falla, el o los efectos de la falla, los mecanismos de protección y las acciones recomendadas.

#### **2.6.2.8 Árbol de fallas (FTA Fault Tree Analysis)**

Es un modelo gráfico cuyo objetivo es describir la secuencia de una falla específica, llamada evento culminante (Top Event). Ésta se compone por la combinación de fallas y errores que pueden ser eventos intermedios o secundarios y eventos primarios.

Falla se define como la disfunción de un componente que necesita ser reparado para funcionar normalmente otra vez; error es el mal funcionamiento a causa de una falla, que deja de ser si esta se corrige. Existen fallas y errores primarios, secundarios y de comando. Los primarios se deben al mal funcionamiento de componentes cuando se operan en condiciones de diseño; los secundarios se deben a operaciones fuera de



las condiciones de diseño; de comando cuando la función del componente es distinta a lo esperado.

Los eventos primarios son la base del árbol y no necesitan mayor desarrollo. Los eventos secundarios son todas aquellas combinaciones de eventos intermedios entre el evento culminante y los eventos primarios. Todos los eventos están relacionados entre sí a través de puertas lógicas.

### 2.6.2.9 Árbol de eventos (ETA Event Tree Analysis)

Es un proceso inductivo de razonamiento, donde el analista comienza con un evento iniciador y desarrolla las posibles secuencias de eventos que conlleven a un accidente potencial, considerando el éxito o fracaso de los mecanismos de seguridad conforme avanza el accidente.

El estudio pretende dar una secuencia lógica y cronológica de éxitos o fracasos, que expliquen el origen de una situación dada. Una vez armado el árbol, se puede calcular su conjunto mínimo de corte, que consiste en los acontecimientos mínimos necesarios para llegar a una consecuencia.

### 2.6.2.10 Análisis Causa-Consecuencia (Cause-Consequence Analysis)

Esta metodología combina las características del razonamiento inductivo del análisis de eventos, con las características del razonamiento deductivo del árbol de fallas, dando como resultado una técnica gráfica que relaciona las consecuencias específicas de un accidente con sus posibles causas. La desventaja de este método es que no se puede desarrollar para sistemas complejos, debido a que la combinación de diagramas es difícil de manejar.

### 2.6.2.11 Análisis de fiabilidad humana (Human Reliability Analysis)

El objetivo de esta técnica es estudiar los factores que dan forma al comportamiento humano, tales como: estrés, condición emocional, capacitación, experiencia, jornada de trabajo, ambiente de trabajo, procedimientos entre otros. La idea de este estudio es encontrar las fallas en la interfase hombre-máquina, para poder analizarlas con referencia a las necesidades, habilidades y limitaciones de las personas y reducir la probabilidad de ocurrencia de los errores humanos.

### 2.6.3 Análisis comparativo entre las distintas metodologías

Cada una de estas técnicas tiene diferentes características que las hacen apropiadas dependiendo de varios factores como son: la disponibilidad de tiempo, las



características y conocimiento del personal involucrado, la etapa de desarrollo del proceso y la disponibilidad de tiempo, entre otros (ver Tabla 2.1).

TÉCNICA	ETAPA DE LA PLANTA						
	Diseño conceptual	Ingeniería de detalle	Operación planta piloto	Construcción /pre-arranque	Expansión/Modificación	Investigación de incidentes	Desmantelamiento
Códigos, estándares y normas	X				X		
Listas de verificación (Checklist)	X	X	X	X	X		X
Análisis histórico de accidentes			X			X	
Revisiones de seguridad			X	X	X		X
Auditorías de seguridad			X	X	X		
Indices Dow y Mond	X				X		
Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp)		X	X	X	X	X	X
Análisis de modos de fallas y efectos (FMEA)		X	X		X	X	
Análisis de árbol de fallas (FTA)		X	X		X	X	
Análisis de árbol de eventos (ETA)		X	X		X	X	
Análisis "What if"	X	X	X	X	X	X	X
Análisis de error humano		X	X		X	X	
Análisis causa-efecto		X	X		X	X	

Tabla 2.1 Aplicación de las técnicas de análisis en las diferentes etapas de una planta



#### 2.6.4 Análisis de Consecuencias

Tras la identificación de un evento no deseado deben ser evaluadas las consecuencias. El análisis de consecuencias es específico al sitio donde se encuentra la planta y debe considerar el tipo de materiales peligrosos involucrados, la localización, la densidad de población aledaña y los patrones de clima prevaleciente. Se deben considerar las consecuencias a la salud como los efectos económicos.

- Para explosiones se debe calcular los radios de la onda de presión.
- Para fuegos se debe calcular los radios de la bola de fuego y los valores de la radiación térmica contra distancia.

Un modelo de dispersión exacto o una simulación que se ajuste a la realidad es muy difícil. La dispersión atmosférica no es reproducible en el laboratorio y aun más difícil es reducirla a términos analíticos.

Los métodos cuantitativos y modelos matemáticos de simulación ayudan a los analistas y a la gerencia de la instalación industrial a determinar la importancia relativa de cada uno de los eventos no deseados identificados y esto permite la toma de decisiones sobre la inversión de recursos de forma más eficiente para la reducción de riesgos.

Algunos ejemplos del uso de los análisis de consecuencias se mencionan a continuación:

- Determinación de la localización óptima de una instalación industrial.
- Determinación de los parámetros de diseño de equipo
- Toma de decisiones en la preparación del plan de respuesta a emergencias
- Cumplimiento de estándares corporativos
- Cumplimiento regulatorio

Los accidentes en las plantas químicas o instalaciones industriales presentan características similares como son: derrames o fugas de sustancias químicas tóxicas, inflamables o explosivas.

Los accidentes comienzan con un incidente que frecuentemente resulta en la pérdida de contención de material involucrado en el proceso, ejemplo de situaciones que conllevan a la pérdida de contención son: la ruptura de una tubería, un orificio en un tanque o en una tubería, una reacción fuera de control, fuego externo a los contenedores, etc. Para la estimación de las consecuencias de este y otro tipo de



accidentes se han desarrollado modelos de estimación dependiendo de los resultados buscados.

#### **2.6.4.1 Clasificación de los modelos de estimación de consecuencias**

Los modelos de estimación de consecuencias se clasifican de la siguiente forma:

- 1. Modelos de fuente**
- 2. Modelos de dispersión**
- 3. Modelos de explosiones e incendios**
- 4. Modelos de efecto**

Una vez que el incidente ha ocurrido, se seleccionan los modelos de fuente para describir como son descargados los materiales del proceso a la atmósfera, estos modelos proporcionan el gasto de la descarga, la cantidad total descargada (o tiempo total de la descarga) y el estado de agregación de la sustancia liberada (sólido, líquido, gas/vapor). Un modelo de dispersión se usa posteriormente para describir el comportamiento del material a través de su trayecto en la atmósfera y la concentración del mismo en función de la distancia que recorre y el tiempo a partir de la emisión. Para el caso de emisiones de sustancias inflamables, los modelos de fuego y explosión convierten la información en potencial de daño como radiación térmica y ondas de sobrepresión. Por último los modelos de efecto convierten los resultados de los modelos anteriores en daños a la gente (lesiones o muertes), a las estructuras y al medio ambiente (ver Fig. 2.4).

#### **2.6.4.2 Modelos de fuente**

Una vez seleccionado el escenario a analizar, los modelos de fuente se utilizan para determinar cuantitativamente las consecuencias de una emisión a través de la estimación del gasto de la emisión, la cantidad total emitida o duración de la emisión, el estado de agregación de la sustancia, la fracción de sustancia evaporada a partir de un derrame y la formación de aerosoles. Los modelos de fuente son modelos matemáticos obtenidos de ecuaciones fundamentales o empíricas que representan los procesos físico-químicos durante la emisión de las sustancias.

Para la aplicación de los modelos fuente es necesario contar con información del accidente a analizar:

- 1. Estado de agregación, condiciones de presión y temperatura.**

Los líquidos pueden estar almacenados bajo presión, por lo que su temperatura de ebullición puede estar por debajo de la temperatura ambiente dando lugar a



una evaporación súbita formando una nube de aerosol, o su temperatura de ebullición puede estar por arriba de la temperatura ambiente produciendo charco o alberca de líquido y dependiendo de su presión de vapor podrá generar o no nubes de vapor.

2. Condiciones finales y la ruta termodinámica.

Se requiere para conocer el desarrollo de la emisión.

3. Tamaño del orificio

Debe ser estimado o conocido, dependiendo de su causa. Algunos autores proponen valores de 2 ó 4 pulgadas sin importar el tamaño de la tubería.

4. Duración de la emisión

El tiempo de duración de la emisión depende de los tiempos de detección y acción de los sistemas de seguridad y del tiempo de respuesta de los operadores. Otros aspectos a considerar serían régimen transitorio de la emisión generalmente cambia conforme disminuye la presión; restricciones al flujo como válvulas, reducciones y otros accesorios; material acumulado en tuberías o equipo que pudiera tener efectos adicionales a la emisión como golpe de ariete, etc.

2.6.4.3 Modelos de dispersión

Los modelos de dispersión son modelos matemáticos que describen el comportamiento de los materiales tóxicos y/o inflamables transportados por el aire desde el lugar de la emisión o fuente a lo largo de la instalación o a la comunidad vecina. Los resultados de los modelos de dispersión son: área de afectación y la concentración de la sustancia en función de la distancia y tiempo transcurrido.

El potencial de daño de la emisión frecuentemente se mide en función de la concentración y se obtienen isopletras (curvas de concentración constante) que se pueden graficar en diagramas o mapas de la zona afectada.

Todos los peligros que conllevan los accidentes con sustancias químicas no son solamente función de la concentración de la sustancia, pueden ser también función de situaciones como las siguientes:

- Tiempo de exposición
- Respuesta biológica del individuo
- Desplazamiento del oxígeno y potencial de asfixia
- Límites de inflamabilidad de las sustancias y las fuentes de ignición presentes
- Limitaciones en la visibilidad por la formación de una nube
- Radiación térmica de las sustancias que se inflamen

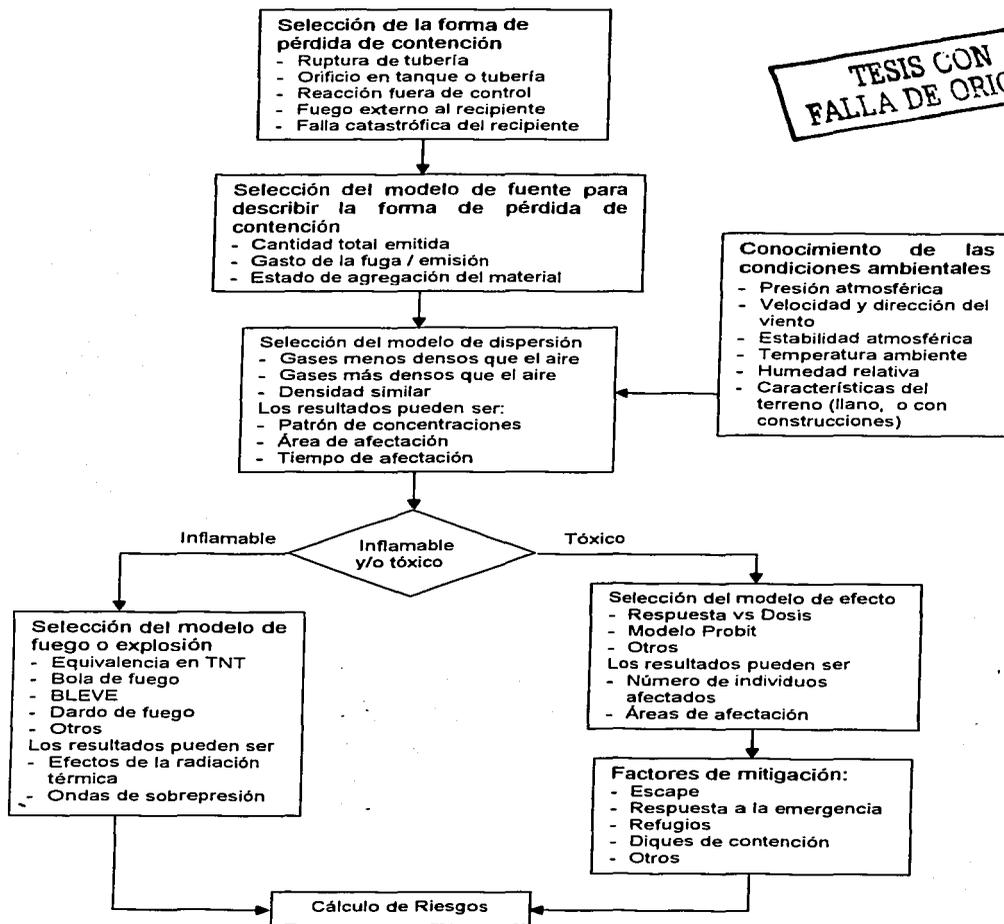


Fig. 2.4 Análisis de consecuencias



Las emisiones que son de forma continua como la proveniente de una chimenea o de una fuga por un pequeño orificio, forman una pluma de la(s) sustancia(s) emitida(s) de forma regular, larga y delgada, cuyo comportamiento está en función de las condiciones atmosféricas y de las características del gas relativas a su flotación con respecto al aire (Ver figura 2.5).

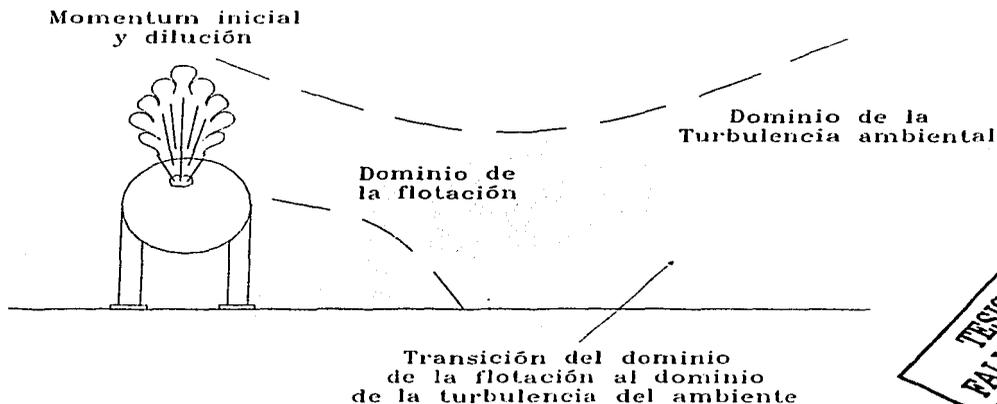


Fig. 2.5 Modelo de dispersión respecto del aire

Las emisiones que son de forma instantánea tienen la forma de una sola nube de vapor/gas conocida como "puff". Estas emisiones se mueven también en función de las condiciones atmosféricas y viajan como un solo bloque hasta su completa dilución y dispersión (Ver figura 2.6) <sup>(7)</sup>.

Los modelos de simulación de dispersión de nubes tóxicas/inflamables necesitan como mínimo la información del gasto o la cantidad del material emitido y de las condiciones atmosféricas que afectan la dispersión. Estas condiciones son las siguientes:

1. Velocidad del viento

La velocidad del viento es el factor por el cual una nube de gas tóxico/inflamable puede ser trasladada y diluida. A medida que la velocidad del viento se incrementa, la sustancia se diluye con mayor velocidad.

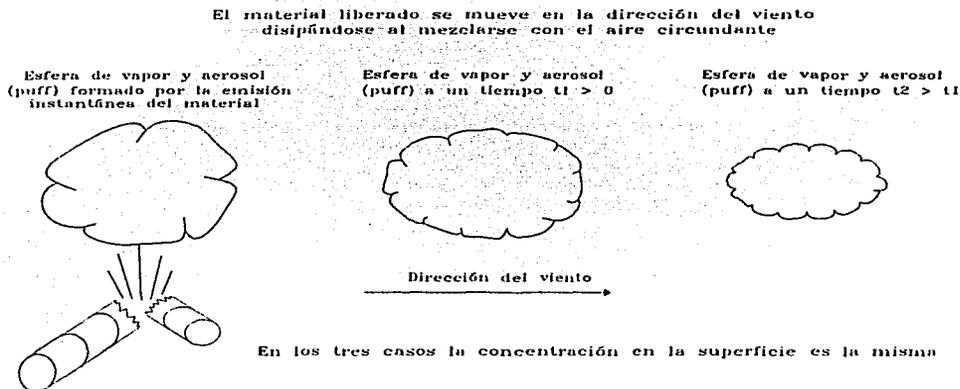


Fig. 2.6 Modelo de dispersión de nubes tóxicas y/o inflamables

### 2. Estabilidad atmosférica

Las condiciones climatológicas tienen una gran influencia sobre la dispersión de las sustancias. La estabilidad atmosférica se relaciona con el mezclado vertical del aire. La estabilidad atmosférica normalmente se clasifica de acuerdo al modelo de Pasquill-Grifford, donde se establecen seis clases de estabilidad (A-F) dependiendo de la velocidad del viento y la cantidad de radiación solar (ver tabla 2.2)<sup>(5)</sup>.

A falta de información precisa, existen dos combinaciones comunes que son utilizadas por los analistas al evaluar las consecuencias: Estabilidad D con una velocidad del viento de 5 m/s y estabilidad F con una velocidad del viento de 1.5 m/s. Estas combinaciones describen escenarios donde la turbulencia y velocidad de mezclado es baja y por lo tanto la dispersión es lenta, esto quiere decir, que se considera el peor escenario posible pues se trata de una nube con una concentración alta desplazándose lentamente en la dirección del viento.

### 3. Condiciones de la superficie o terreno

Las condiciones del terreno afectan el comportamiento de mezclado del aire a diferentes alturas con respecto al suelo y por lo tanto de las nubes de gases tóxicos/inflamables. Las estructuras y árboles aumentan el mezclado, mientras superficies llanas sin construcciones lo disminuyen.



## 4. Altura del punto de la emisión

La altura del punto de emisión es un factor que en combinación con la característica de flotación del gas, interviene en la cantidad de sustancia que se puede encontrar en la superficie del terreno.

## 5. Momentum y comportamiento del material frente al aire

Los gases pueden comportarse de tres diferentes formas de acuerdo a sus características de flotación. Esto es, los gases pueden tener una flotación negativa si son más densos que el aire, una flotación positiva si son menos densos que el aire o una flotación neutra para gases con densidad similar a la del aire.

Los diferentes escenarios posibles en la dispersión de una nube tóxica/inflamable, pueden ser estimados a través de una combinación de los factores anteriores.

Velocidad del viento en la superficie (m/s)	Día			Noche	
	Nivel de radiación solar			Nubosidad	
	Elevada	Moderada	Baja	Mas del 50%	Menos del 50%
<2	A	A-B	B	E	F
2-3	A-B	B	C	E	F
3-5	B	B-C	C	D	E
5-6	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

A: Condiciones extremadamente inestables    D: Condiciones neutras  
 B: Condiciones moderadamente inestables    E: Condiciones ligeramente estables  
 C: Condiciones ligeramente moderadas        F: Condiciones moderadamente estables

Tabla 2.2 Tipo de estabilidad basado en la velocidad del viento y la radiación solar.

2.6.4.4 Modelos de explosiones e incendios<sup>(4)</sup>.

Las explosiones se clasifican como detonaciones o deflagraciones. En una detonación el frente de llamas toma la forma de una onda de choque a una velocidad mayor a la del sonido o supersónica, el aumento de la presión es casi instantáneo y puede alcanzar hasta 20 veces la presión original. En una deflagración, se genera combustión rápida a una velocidad menor a la del sonido o subsónica, con un aumento de presión de 8 a 10 veces la inicial.

La diferencia más significativa entre los incendios o fuegos y las explosiones es la cantidad de energía liberada. Los incendios liberan energía lentamente, mientras que



las explosiones lo hacen muy rápidamente en el orden de microsegundos. Los incendios pueden resultar en explosiones y las explosiones en incendios.

#### **2.6.4.4.1 Tipos de explosiones.**

Las explosiones dependen de una serie de parámetros tales como: la temperatura ambiente, la presión atmosférica, la composición del material, las propiedades físicas del material, la geometría de los alrededores (espacios abiertos o confinados), la cantidad del material involucrado, el tiempo transcurrido antes de la ignición, etc. Lo anterior, hace al comportamiento de las explosiones difícil de explicar y que los modelos matemáticos de éstas tengan ciertas incertidumbres.

La onda de sobrepresión se debe a la expansión de los gases por la reacción. Esta expansión puede ser causada por los efectos estequiométricos (cambio en el número total de moles) o los efectos térmicos.

Los efectos de las explosiones se pueden dividir en tres: ondas de sobrepresión, formación de proyectiles y radiación térmica.

Los tipos de explosiones que se pueden presentar son las siguientes:

1. Explosiones de nubes de vapor no confinadas. (UVCE Unconfined Vapor Cloud Explosion)
2. Explosiones de nubes de vapor confinadas (CVCE Confined Vapor Cloud Explosion)
3. Explosiones por la expansión de líquido en ebullición (BLEVE Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion)
4. Explosiones físicas.

#### **2.6.4.4.1.1 Explosiones de nubes de vapor no confinadas. (UVCE)**

Las explosiones de nubes de vapor no confinadas o UVCE son las más dañinas y peligrosas dentro de la industria química. Para que ocurra una explosión de nube de vapor se necesita la presencia de 4 elementos, estos son los siguientes:

1. Emisión/Descarga/Fuga repentina de material inflamable. Esto ocurre generalmente cuando se fractura un recipiente con un líquido sobrecalentado y presurizado.
2. La dispersión de la sustancia y la formación de una nube de vapor, en un lapso de tiempo. El tiempo más probable para que ocurra la explosión es de 1 a 5 minutos.
3. Una fuente de ignición.



4. Una parte suficientemente grande de la nube de vapor tiene que estar dentro del rango de inflamabilidad.

Algunos de los parámetros que afectan el comportamiento de las explosiones de nubes de vapor son los siguientes: cantidad del material emitido, fracción del material vaporizado, distancia del punto de ignición, eficiencia de la explosión, etc.

Estudios cualitativos demuestran que:

- a) La probabilidad de ignición de la nube es proporcional a su tamaño
- b) La eficiencia de la explosión es baja, aproximadamente el 2% de la energía de combustión es transformada en ondas de choque
- c) El mezclado turbulento de la mezcla de vapor y aire aunado a una fuente de ignición lejana al punto de emisión, aumentan el impacto de la explosión
- d) Los incendios de nubes de vapor son más comunes que las explosiones

#### 2.6.4.4.1.2 Explosiones de nubes de vapor confinadas. (CVCE)

Las explosiones confinadas ocurren en lugares tales como edificios o recipientes. Los dos escenarios más comunes son las explosiones de vapores inflamables y polvos. Los peligros sobresalientes de estas explosiones son las ondas de sobrepresión y la formación de proyectiles.

Las explosiones de polvos se comportan de una manera muy especial. Este tipo de explosiones ocurren cuando las partículas sólidas muy finamente divididas son dispersadas en el aire y encendidas. Estas explosiones se presentan en los silos de harina o en la industria minera. Una explosión inicial puede causar explosiones secundarias.

#### 2.6.4.4.1.3 Explosiones por la expansión de un líquido en ebullición (BLEVE)

Las BLEVE's son un fenómeno que ocurre cuando se fractura o rompe un recipiente contenido un líquido bajo presión y a una temperatura significativamente arriba de la temperatura normal de ebullición (ver Fig. 2.7). Conforme esto pasa, el líquido se vaporiza casi instantánea y se expande alrededor de cien veces de su volumen original con una fuerza explosiva <sup>(5)</sup>.

Si la BLEVE involucra un líquido inflamable o un gas inflamable licuado, la explosión inicial será seguida por la ignición instantánea de los vapores emitidos, resultando en una bola de fuego masiva y aumento en la fuerza explosiva.

Existen dos mecanismos que pueden provocar una BLEVE de un contenedor presurizado. Estos mecanismos son la exposición de un recipiente directo al fuego y la



falla catastrófica del recipiente debido a daños o fallas mecánicas (Ej. corrosión, defectos de manufactura, etc.). En la práctica, el primer mecanismo es el más común.

La secuencia de eventos que ocurren durante la exposición directa al fuego del recipiente es la siguiente:

- El fuego calienta las paredes del recipiente
- Las paredes del recipiente por debajo del nivel de líquido son enfriadas por el mismo líquido, lo que provoca un aumento en la temperatura del líquido y un aumento en la presión del tanque.
- Si las flamas alcanzan las paredes del tanque donde hay vapor y no hay líquido que absorba el calor, la temperatura del metal aumentará, debilitándolo y afectando sus propiedades estructurales.
- El tanque se rompe y se evapora explosivamente su contenido. Las válvulas de seguridad no brindan protección para un fenómeno de este tipo, su intención de diseño es eliminar vapores por sobrellenado o aumentos de temperatura moderados.

#### **2.6.4.4.1.4 Explosiones físicas**

Las explosiones físicas se relacionan con la ruptura catastrófica de un recipiente presurizado cuyo contenido es un gas. Cuando esta ruptura sucede, el resultado es la liberación de energía. La energía liberada puede producir una onda de choque y lanzar fragmentos del recipiente.

Si el contenido del tanque es inflamable, es posible que el gas sea encendido causando efectos adicionales.

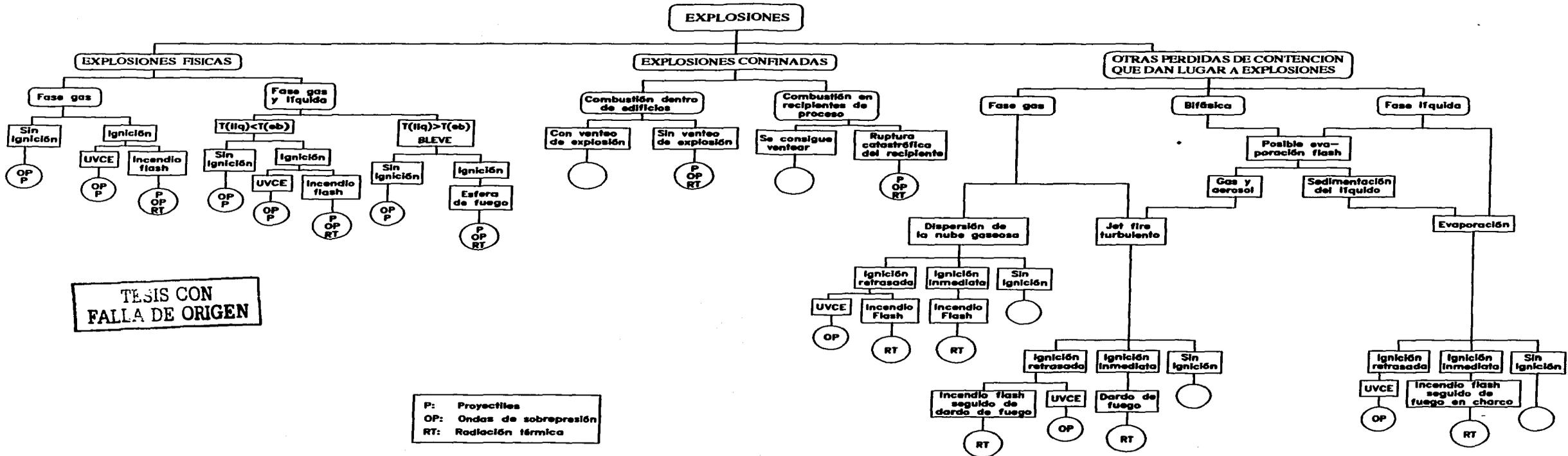
La ruptura de un tanque, puede deberse a cualquiera de las siguientes causas:

- a) Falla en la regulación de la presión y del equipo de alivio de sobrepresión.
- b) Reducción del espesor de las paredes del tanque debido entre otras causas a corrosión y erosión.
- c) Reducción de la resistencia del recipiente.

#### **2.6.4.4.2 Tipos de incendios**

El fuego es una reacción química que necesita de tres componentes para llevarse a cabo: combustible, comburente u oxidante y una fuente de ignición o energía.

Los tipos de escenario que se pueden presentar debido a una fuga o derrame de una sustancia química inflamable son los siguientes:



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

P: Projectiles  
 OP: Ondas de sobrepresión  
 RT: Radiación térmica

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



1. Ráfaga de fuego (Flash Fire)
2. Bola de fuego (Fire Ball)
3. Chorro de fuego (Jet Fire)
4. Incendios o fuego de charcos (Pool Fire)

#### 2.6.4.4.2.1 Ráfaga de fuego

Este tipo de accidente es la combustión no explosiva de una nube de vapor resultado de una fuga de una sustancia química inflamable en un espacio abierto. El mayor riesgo de este tipo de fuego es la radiación térmica y el contacto directo de la flama con los objetos y los seres vivos.

La combustión de la nube de vapor es una ráfaga de fuego, normalmente no dura más de unas décimas de segundo. Frecuentemente la zona de efecto del fuego se estima primero haciendo una modelación de dispersión y definiendo la zona de inflamabilidad.

#### 2.6.4.4.2.2 Bola de fuego

Las bolas de fuego se producen cuando una sustancia inflamable es liberada de forma súbita de su recipiente y es encendida. El diámetro de la bola de fuego y la duración del fuego están en función de la cantidad de sustancia liberada. El mayor peligro de este tipo de fuego es la radiación térmica y dado que se produce en cuestión de segundos sus efectos pueden ser graves.

#### 2.6.4.4.2.3 Dardo de fuego

Este tipo de incendio se da cuando una sustancia inflamable es liberada de un contenedor (recipiente o tubería) sujeto a presión en forma de chorro y es encendida. El mayor peligro de este tipo de fuego es la radiación y depende de la distancia que alcance el dardo y el tiempo de exposición.

#### 2.6.4.4.2.4 Incendios en charcos

Los incendios en charcos ocurren cuando un equipo de proceso que contiene un material inflamable pierde contención y éste se derrama, acumulándose en el suelo y encendiéndose posteriormente. Si la sustancia es líquida y se encuentra almacenada a una temperatura menor a temperatura normal de ebullición, el líquido formará un charco en el suelo. La geometría del charco es función de la forma y estructura de los alrededores del punto del derrame (diques de contención). Si se derrama una sustancia almacenada a una temperatura mayor a su temperatura normal de ebullición, una

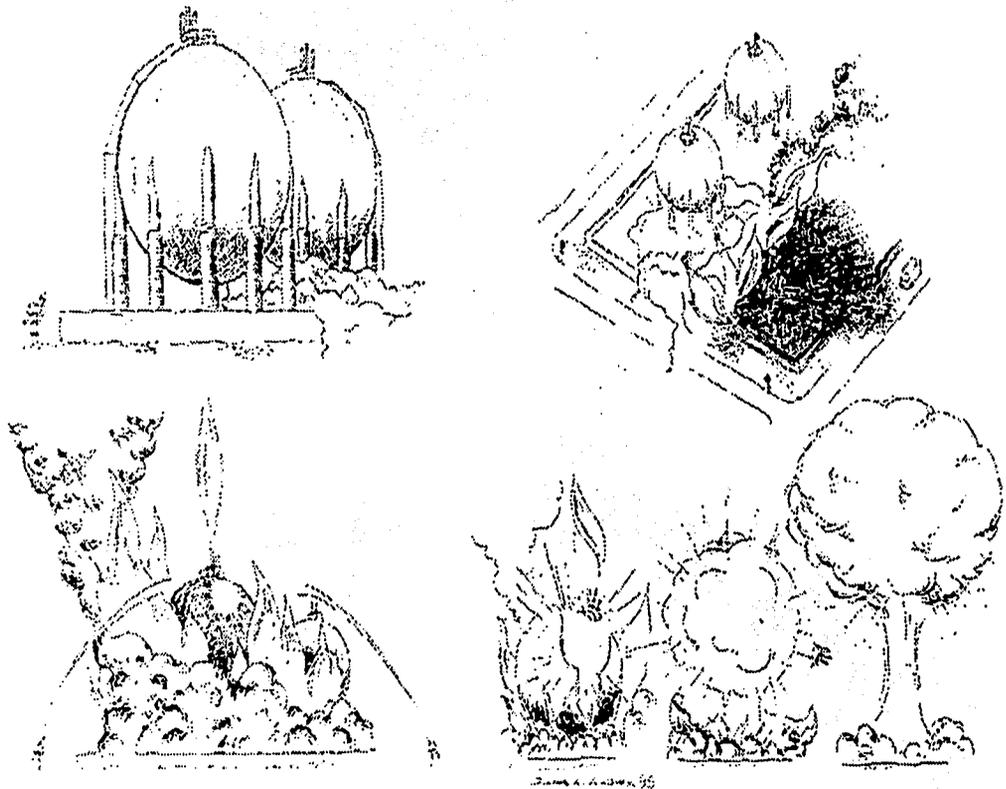


Fig. 2.7 Escape, incendio, calentamiento de recipientes, explosión (BLEVE) y formación de la bola de fuego <sup>(5)</sup>

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



fracción del líquido se evaporará y el resto permanecerá en el charco. La forma como se prende un charco es a través de la ignición del vapor que se desprende, formando una ráfaga de fuego.

El peligro mas significativo de este tipo de incendios es la radiación térmica producida por las llamas. Algunos componentes a considerar para evaluar la determinación de los efectos térmicos causados por este tipo de fuego son las siguientes: tipo de sustancia (calor de combustión), forma y tamaño del charco, duración del fuego, localización de los objetos/seres humanos receptores de la radiación, capacidad de escapar (presencia o no de bardas), etc.

### 2.6.4.5 Modelos de efectos

Una vez estimados los efectos de un accidente, radiación térmica u onda de choque, debemos evaluar sus efectos, esto es, realizar una estimación de lo que pasará cuando estos efectos actúen sobre las personas, el ambiente, los edificios o los equipos, etc. Estas estimaciones suelen reportarse como una serie de valores tabulados o gráficos indicando los radios de fatalidad. Cuando se incluyan sustancias tóxicas se deben reportar las áreas afectadas por concentraciones peligrosas a los seres humanos.

### 2.6.5 Toma de decisiones y control de riesgos

Se debe considerar que la posibilidad de que un accidente ocurra siempre va a existir, no importa cuantos mecanismos automáticos se instalen o se vayan a instalar. Por ello se utilizan válvulas de seguridad, venteos, mecheros o incineradores.

Los principios empleados son los mismos que los utilizados en la etapa de diseño y operación. La mejor solución, siempre que sea posible, será modificar el proceso en vez de agregar equipo. Una vez evaluada la probabilidad de ocurrir y las consecuencias potenciales, es necesario tomar las medidas necesarias para mantener el riesgo dentro de un límite aceptable o mitigar sus consecuencias.

La ingeniería de control o tratamiento debe efectuarse en la etapa de diseño, especificación de equipo y construcción, para asegurar que estas actividades se efectuaron de acuerdo con códigos de la industria, normas aplicables y requerimientos reguladores de gobierno.

### 2.6.6 Procedimientos

La implementación de procedimientos debe ser consistente con otros elementos del programa de seguridad de la planta. Algunas ventajas de la redacción de un manual de operación son:



- La reflexión sistemática sobre la mejor manera de llevar a cabo las operaciones del proceso.
- Eliminar diferencias en el modo de trabajo entre los distintos turnos.
- De gran valor como herramienta para la formación de nuevos operadores.

Un programa de administración de riesgos debe incluir procedimientos para el manejo de productos químicos peligrosos, procedimientos de operación, mantenimiento, seguridad, entrenamiento, auditorías e investigación de incidentes. Se debe contar con un sistema de mantenimiento preventivo que identifique la presencia de fallas en el equipo y aporte datos que puedan ser usados para prevenir serios problemas antes de que ocurran.

La importancia del control de cambio no debe dejarse de lado. Sin importar que el cambio pueda parecer menor, se debe mantener documentado el cambio y los diagramas actualizados.

Los tipos de procedimiento aplicables son:

- Procedimientos de operación que abarquen: arranque, paro, muestreo, paro de emergencia y cambio de turno.
- Procedimientos de mantenimiento que incluyan programa normal de mantenimiento, mantenimiento correctivo y preventivo y administración de permisos de trabajo.
- Procedimientos de seguridad que indiquen las prácticas de seguridad de la planta (bajo condiciones normales y anormales de operación), respuesta a emergencias y tratamientos de primeros auxilios.
- Procedimientos de inspección y prueba relacionados con el equipo clave durante la operación, mantenimiento y revisiones en auditorías.
- Procedimientos de comunicación, éstos son de suma importancia en el caso de emergencias.

Como una planta esta en continuo cambio, las modificaciones a los procedimientos anteriores es inevitable. El control de cambios debe ser manejado y aprobado por personal asignado por quien tenga a su cargo la responsabilidad de la administración de riesgos, y así asegurar que las últimas versiones estén disponibles y que los ejemplares obsoletos sean retirados para evitar errores.



### **2.6.7 Entrenamiento**

Un estudio reciente sobre accidentes en los procesos y almacenamiento ha revelado que casi dos terceras partes de los accidentes fueron causados por errores humanos y no por fallas en el equipo o deficiencias en el diseño. Los controles administrativos mejor diseñados no sirven si las personas designadas para implementar esos controles no han sido entrenadas para entender su función y su correcta implementación.

Entrenamiento es un termino colectivo para aquellas actividades en las cuales el personal es educado para estar familiarizado con la operación y las prácticas seguras. Un entrenamiento más específico debe incluir tanto lecciones en un salón de clases como prácticas de campo, las cuales deben ser impartidas por operadores de la planta y supervisores para asegurar que los principios básicos del proceso y las técnicas de operación (en lenguaje común) sean comprendidos.

Las situaciones cuando es más necesario dar entrenamiento son:

- Incorporación de un nuevo empleado, un empleado no debe asumir tareas individualmente mientras no haya completado su capacitación y su aprovechamiento haya sido evaluado satisfactoriamente.
- Cuando un empleado cambia de puesto o de responsabilidad; si se trata de un puesto de supervisión no se debe olvidar la formación sobre cómo ejercer el mando y su papel clave dentro de la seguridad.
- Cuando se han efectuado cambios en la planta, el proceso o los procedimientos de operación.

El entrenamiento de seguridad debe ser planeado cuidadosamente y administrado por el Departamento de Seguridad. Debe estar bien definido y ser específico al sitio de trabajo y conducido por un especialista; debe incluir seguridad básica de la planta, información del tratamiento de primeros auxilios para cada uno de los materiales peligrosos, respuesta a emergencias, precauciones del área de trabajo y procedimientos de notificación de peligros.

.Cursos de entrenamiento de actualización son importantes para operadores, supervisores, oficiales y administradores que conocen la planta e intervienen día a día en su operación. Todo el personal a cargo de la planta debe estar informado de los cambios en el equipo, en el sistema, en las restricciones para un nuevo producto o en cualquier aspecto que afecte la seguridad.



### **2.6.8 Planes de respuesta a emergencias**

Los resultados del análisis de consecuencias pueden ser usados como base para establecer planes de contingencia. El personal debe estar entrenado en el papel que asumiría en el caso de una emergencia.

Se debe elaborar un equipo, el cual debe estar bien definido y tener claramente identificados a sus elementos participantes y sus responsabilidades dentro de la jerarquía interna.

Este equipo, en caso de presentarse una emergencia, será responsable de llevar a cabo las siguientes actividades:

- Desarrollar un plan de respuesta a emergencia para la planta, proceso o servicio.
- Implementar y revisar el plan.
- Desarrollar procedimientos de respuesta de emergencia para la implementación del plan.
- Entrenar al equipo de respuesta a emergencias por medio de clases, simulacros y ejercicios.
- Establecer y operar un centro de comando.
- Controlar el inventario y revisar los recursos para la respuesta de emergencias, tal como equipo de radio, equipo contra incendio y equipo de primeros auxilios.

La práctica de la respuesta a emergencias es muy importante pues el tiempo, durante una emergencia real, es crítico. Las áreas a ser cubiertas bajo este tipo de entrenamiento deben incluir:

- Notificación y puesta en marcha de la organización a cargo de la respuesta a emergencias.
- Respuesta inicial y mitigación.
- Instalación y arranque del centro de comando (Coordinación de los diferentes equipos participantes).
- Sistemas de comunicación.
- Coordinación con autoridades locales, estatales y/o federales.

Las lecciones aprendidas durante estas prácticas serán documentadas y se usaran en la revisión del plan, los procedimientos y el programa de entrenamiento para asegurar una mejora sustancial en la capacidad de respuesta a emergencias.



### 2.6.9 Investigación de incidentes

Un accidente tiende a hacer al personal involucrado muy defensivo y temeroso a las represalias. Un procedimiento de investigación de incidentes efectivo debe ser reconocido como una herramienta de aprendizaje, para determinar posibles medidas preventivas. Los mejores programas de administración de riesgos son aquellos en los cuales las personas involucradas pueden aprender de sus errores. Los operadores deben ser alentados a reportar sus errores;

Si la información proveniente de la investigación no se invierte en mejorar el sistema, ésta habrá sido inútil.

Los objetivos de la investigación de accidentes son:

- Determinar la causa y los efectos.
- Proporcionar documentación para el entrenamiento de personal para prevenir que se repitan incidentes bajo condiciones similares.
- Registrar las medidas tomadas como recomendaciones.

Cuando se lleve a cabo una investigación de incidentes, el responsable debe ser designado, tan pronto como sea posible, para recopilar las evidencias y los datos importantes para facilitar el proceso de investigación. La información puede ser obtenida del lugar del accidente, de las entrevistas a personas involucradas, revisión de datos técnicos y análisis de información de accidentes similares.

Un reporte de la investigación de incidentes debe contar con un registro histórico de las condiciones de operación de la planta o proceso, la documentación referente a la investigación, las conclusiones, las acciones recomendadas y las resoluciones. Los reportes no deben cerrarse hasta que todas las acciones correctivas se hayan completado.

### 2.6.10 Auditorías

Se requieren revisiones periódicas para determinar la eficiencia del programa de administración de riesgos, y también para revisar el grado de cumplimiento. Las auditorías son un recurso clave en la retroalimentación para la administración del programa y aseguran su correcta implementación. El objetivo de las auditorías no es encontrar incumplimientos, sino mejorar el sistema.

El alcance de una auditoría puede variar desde una revisión a los procedimientos de operación y mantenimiento a una revisión detallada de registros y listas de verificación.



Con las auditorías se pretende aprovechar la experiencia del auditor para darle seguimiento a los problemas utilizando su capacidad de investigación.

El proceso de auditoría puede tomar diferentes formas como son inspecciones físicas, revisiones a la documentación y registros, aplicación de controles para verificar la implementación del programa, así como, entrevistas a personal seleccionado. La frecuencia de las auditorías depende del programa y las características de la planta o proceso, aunque suele ser aplicadas una vez al año, para instalaciones comunes.

### 2.7 Administración del peligro en los procesos (*Management of Process Hazard*) API RP 750 (American Petroleum Institute, Recommended Practice 750) <sup>(1)</sup>

En las secciones anteriores se han descrito los principales elementos de un programa de administración de la seguridad. A continuación se presenta a manera de ejemplo el resumen de un programa de administración de la seguridad específico para la industria petrolera y petroquímica elaborado por el Instituto Norteamericano del Petróleo API, por sus siglas en inglés. De los varios programas existentes se eligió este por tratar varios aspectos de lo aquí expuesto y presentar información importante aplicable a un área de almacenamiento.

#### 2.7.1 Generalidades

2.7.1.1 Propósito. Pretende ayudar en la administración de riesgos de proceso.

Prevenir la ocurrencia o minimizar las consecuencias de las fugas catastróficas de materiales peligrosos.

2.7.1.2 Objetivo, sistemas de administración y principios.

2.7.1.2.1 Objetivo y sistemas de administración.

El objetivo de la administración de riesgos de proceso es prevenir fugas catastróficas. Esto se lleva a cabo cumpliendo con los siguientes once puntos:

- a) Información de la seguridad del proceso.
- b) Análisis de riesgos de proceso.
- c) Administración del cambio.
- d) Procedimientos de operación.
- e) Prácticas de trabajo seguro.
- f) Entrenamiento.



- g) **Aseguramiento de la calidad y la integridad mecánica del equipo crítico.**
- h) **Revisión previa al arranque.**
- i) **Control y respuestas de emergencia.**
- j) **Investigación de incidentes.**
- k) **Auditorias al sistema de administración de riesgos.**

#### **2.7.1.2.2 Principios.**

Estas prácticas recomendadas se basan en los siguientes principios:

- a) **Instalaciones (plantas, áreas de proceso) con un potencial de fugas catastróficas son diseñadas, construidas y mantenidas en forma compatible con los códigos de la industria y estándares aceptados.**
- b) **El sistema de administración de riesgos es una parte fundamental del diseño, construcción y mantenimiento.**
- c) **El apoyo de la alta dirección es esencial para el éxito general de la administración de riesgos de proceso.**
- d) **Los sistemas de administración de riesgos del proceso serán mantenidos y actualizados a través de auditorias periódicas para asegurar su adecuado funcionamiento.**
- e) **La administración de riesgos de proceso minimiza las interrupciones de la producción.**

#### **2.7.1.3 Alcance.**

##### **2.7.1.3.1 Aplicaciones**

Estas prácticas recomendadas aplican para instalaciones de proceso que usen, produzcan, procesen o almacenen las siguientes sustancias:

- a) **Sustancias inflamables o combustibles presentes en tal cantidad o condición que pueda ocurrir una fuga catastrófica de más de 5 Ton. de gas o vapor sucediendo en cuestión de minutos, basado en fallas creíbles y en las propiedades del material.**
- b) **Sustancias tóxicas comúnmente usadas en la industria petrolera.**

##### **2.7.1.3.2 Aplicabilidad de las prácticas recomendadas.**

Estas prácticas recomendadas fueron desarrolladas para refinerías e industrias petroquímicas y áreas de almacenamiento de gas licuado de petróleo (LPG).



**2.7.1.4 Definiciones (consultar glosario al final)**

**2.7.1.5 Referencias a publicaciones anteriores**

**Std 2510 Design and Construction of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Installations**

**Publ 2510-A Fire-Protection Consideration for the Design and Operation of Liquefied Petroleum Gas (LPG) Storage Facilities**

**2.7.2. Información de la seguridad del proceso.**

**2.7.2.1 Generalidades.**

Esta información ofrecerá los fundamentos para identificar y comprender los peligros involucrados en el proceso. Se debe incluir una evaluación de los peligros presentados por todos los materiales, incluyendo información de toxicidad, límites de exposición permisibles, datos físicos, datos de estabilidad térmica y química, datos de reactividad, datos de corrosión y los efectos peligrosos de mezclado inadvertido de materiales. La información de la seguridad del proceso debe incluir también información de diseño de proceso y elementos mecánicos.

**2.7.2.2 Información de la seguridad del proceso.**

**2.7.2.2.1** La información del diseño del proceso debe incluir un diagrama de flujo de proceso (DFP), las reacciones químicas del proceso, el inventario máximo, límites inferiores y superiores donde sean aplicables para parámetros como la temperatura, la presión, flujo y composición; las consecuencias respecto a la seguridad de estas desviaciones.

**2.7.2.2.2** En caso de carecer de la información del proceso original, la información debe ser desarrollada en forma conjunta al análisis de riesgos del proceso.

**2.7.2.3 Información de diseño mecánico.**

**2.7.2.3.1** La información de diseño mecánico debe incluir los materiales de construcción, diagramas de tubería e instrumentación (DTI), clasificación de áreas eléctricas, el diseño y bases del sistema de desfogues, el diseño de sistemas de ventilación, especificaciones de tubería y equipo, una descripción de paro y sistemas de interlock e información de los códigos empleados.



**2.7.2.3.2 El diseño mecánico debe ser consistente con códigos y estándares aceptados y actualizados. Cuando el diseño mecánico no es consistente con los códigos y estándares, la desviación debe ser documentada junto con sus bases de diseño.**

**2.7.2.3.3 En caso de carecer de la información de diseño mecánico la información debe desarrollarse a partir de la inspección en campo y registro del equipo.**

**2.7.2.4 Conocimientos de los operadores.**

**Los procedimientos deben estar en un lugar que asegure su disponibilidad a toda persona responsable del funcionamiento del proceso y que cada persona tenga el conocimiento de la información de la seguridad del proceso necesario para desempeñar sus funciones.**

**2.7.3. Análisis de peligros del proceso**

**2.7.3.1 Aplicación.** El propósito de este análisis es minimizar la probabilidad de ocurrir y las consecuencias de la fuga de una sustancia peligrosa por medio de la identificación, evaluación y control de eventos que pueden llevar a esas fugas.

**2.7.3.2 Metodología.**

**2.7.3.2.1 Generalidades**

**2.7.3.2.2 Identificación**

**2.7.3.2.3 Evaluación**

**2.7.3.2.4 Alternativas**

**2.7.3.3 Análisis inicial.**

**El análisis de riesgos de proceso para instalaciones debe ser realizado en orden de prioridad. Se deben considerar los siguientes puntos para establecer la prioridad:**

- a) Alto valor SHI (Sustance Hazard Index) índice de peligro de la sustancia o grandes cantidades de sustancias tóxicas, inflamables o explosivas.**
- b) Proximidad a áreas densamente pobladas o una localización en la planta donde trabajen gran cantidad de personas.**
- c) Complejidad del proceso incluyendo reacciones extremadamente exotérmicas o reacciones secundarias.**



d) Condiciones de operación severas, como altas temperaturas o presiones, condiciones que causen alta corrosión.

2.7.3.4 **Análisis periódicos.** Los análisis de riesgos de proceso deben ser revisados y actualizados periódicamente. Para instalaciones comunes se recomienda intervalos entre 3 y 10 años dependiendo de la complejidad del proceso.

2.7.3.5 **Equipo encargado del análisis.** Los análisis de riesgos de proceso deben ser llevados a cabo por un equipo de personas con conocimientos de ingeniería, operación, diseño, proceso y otras especialidades relacionadas.

2.7.3.6 **Reporte del análisis.** Se debe preparar un reporte escrito del análisis de riesgos de proceso que presente los hallazgos y recomendaciones.

#### 2.7.4. Administración del cambio

##### 2.7.4.1 Generalidades.

Una instalación de proceso esta sujeta a continuos cambios para aumentar su eficiencia, mejorar su operabilidad y seguridad, adaptar innovaciones técnicas e implementar mejoras al equipo.

##### 2.7.4.2 Tipos de cambio.

###### 2.7.4.2.1 General.

Hay dos tipos de cambios en instalaciones de proceso: cambios en la tecnología, cambio a la instalación. Sin embargo, algunos cambios pueden ser menores, con poca probabilidad de poner en riesgo el proceso.

###### 2.7.4.2.2 Cambio en la tecnología.

Un cambio en la tecnología se presenta cuando se altera el diseño mecánico o del proceso. Ejemplos típicos donde ocurren cambios en la tecnología pueden ser:

- a) Proyectos para nuevas instalaciones que involucren integraciones o modificaciones a unidades existentes.
- b) Cambios significativos en las condiciones de operación incluyendo presión, temperatura, flujo o condiciones de proceso diferentes a las condiciones de diseño.
- c) Cambio a los equipos incluyendo la adición de nuevo equipo y modificaciones al actual. Estos cambios incluyen modificaciones en instrumentación, alarmas y esquemas de control (interlocks).



- d) **Modificaciones del proceso o equipo que provocan cambios en los requerimientos de desfogue de la instalación.**
- e) **Salto en el flujo (bypass) en equipos que están normalmente en servicio.**
- f) **Cambios en los procedimientos de operación incluyendo procedimientos para arranque, paro normal o paro de emergencia.**

#### **2.7.4.2.3 Cambios en la instalación.**

Ocurren cuando se modifica la instalación en forma que estos cambios no necesariamente aparecen en los DTI's, son conexiones temporales o reemplazo de componentes por otros que no necesariamente cumplan las especificaciones. Estos cambios incluyen:

- a) **Reposición de equipo o maquinaria diferente del original.**
- b) **Tubería, conexiones o mangueras temporales.**
- c) **Bridas.**
- d) **Provisión de materiales, catalizadores o reactivos por medio de tanques o tolvas provisionales.**
- e) **Equipo o conexiones eléctricas provisionales.**

#### **2.7.4.3 Manejo del cambio.**

La administración debe establecer e implementar procedimientos escritos para el manejo del cambio en la tecnología del proceso y de la instalación. Estos procedimientos deben ser lo suficientemente flexibles para adaptarse a los cambios mayores y menores. Estos procedimientos deben ser entendidos y usados por todo el personal involucrado. Deben considerar los siguientes puntos:

- a) **Las bases de diseño mecánico y de proceso del área de la instalación donde se llevaran a cabo las modificaciones.**
- b) **Un análisis de riesgos a la seguridad, la salud y al ambiente del cambio propuesto.**
- c) **Las modificaciones necesarias a los procedimientos de operación.**
- d) **Comunicación de los cambios propuestos y de las consecuencias de ese cambio al personal relacionado.**
- e) **La documentación (diagramas, procedimientos, etc.) relativa al cambio propuesto.**



- f) Duración de la modificación.
- g) Autorizaciones requeridas.

#### **2.7.5. Procedimientos de operación.**

##### **2.7.5.1 Contenido de los procedimientos de operación.**

Los procedimientos de operación escritos deben proporcionar para cada instalación o unidad de proceso la siguiente información:

- a) Rango de la persona o las personas responsables para cada una de las áreas de proceso.
- b) Claras instrucciones para la operación segura de cada área, siendo consistente con la información de la seguridad del proceso.
- c) Condiciones de operación y pasos a seguir para las siguientes fases de la operación:
  - 1) Inicio de operaciones.
  - 2) Operación normal.
  - 3) Operaciones temporales en la secuencia correspondiente.
  - 4) Operaciones de emergencia incluyendo paro de emergencia.
  - 5) Paro normal.
  - 6) Arranque posterior a cambio de turno.
- d) Donde las condiciones del proceso pongan en riesgo la seguridad, describir los siguiente:
  - 1) Consecuencias de las desviaciones.
  - 2) Pasos a seguir para corregir o evitar esas desviaciones.
  - 3) Consideraciones a los sistemas de seguridad y sus funciones.
- e) Seguridad ocupacional y la salud deben incluir los siguiente:
  - 1) Propiedades de los peligros presentes por los materiales utilizados.
  - 2) Precauciones especiales para prevenir exposiciones.
  - 3) Medidas de control a ser tomadas si se presenta contacto físico o inhalación del producto.

##### **2.7.5.2 Realización de los procedimientos de operación.**

Para instalaciones nuevas o modificadas, los procedimientos de operación deben estar disponibles antes del arranque.



### **2.7.5.3 Revisión periódica.**

Quando se realicen cambios a la tecnología o a las instalaciones, los procedimientos de operación deben ser revisados para adaptarse a dichas modificaciones. Además los procedimientos de operación deben revisarse periódicamente para asegurarse que reflejen las prácticas de operación.

### **2.7.6. Prácticas seguras de trabajo.**

#### **2.7.6.1 Generalidades**

Se deben establecer prácticas seguras de trabajo que indiquen las actividades de operación, mantenimiento, de modificaciones y el control de materiales y sustancias peligrosas para la seguridad del proceso. Para instalaciones nuevas o modificaciones mayores, estas prácticas deben definirse antes del arranque.

#### **2.7.6.2 Desempeño seguro de actividades de trabajo.**

Las prácticas seguras de trabajo deben incluir las actividades del trabajo comúnmente realizadas por personal de mantenimiento y operación específicamente la apertura de equipo o de tubería, el correcto aislamiento o bloqueo de energía eléctrica o equipo mecánico, trabajos de soldadura u otros que involucren fuentes de ignición, entrada a lugares confinados y el empleo de grúas o equipo pesado similar. El sistema de permisos de trabajo debe ser un elemento clave en las prácticas seguras de trabajo.

#### **2.7.6.3 Control de materiales**

Materias primas, catalizadores y otras sustancias que puedan afectar la seguridad del proceso deben registrarse con sus respectivas hojas de seguridad.

Se deben establecer procedimientos de control de calidad para asegurar que todos los materiales indicados en el párrafo anterior cumplan con las especificaciones necesarias.

### **2.7.7. Entrenamiento**

#### **2.7.7.1 Generalidades.**

Se debe proporcionar entrenamiento al personal responsable de la operación y mantenimiento de la planta de acuerdo a sus tareas y responsabilidades.



**2.7.7.2 Entrenamiento inicial.**

Se deben desarrollar criterios de aptitudes necesarias para el personal de operación. Implementar procedimientos para asegurar que las personas asignadas para operar la instalación cuenten con el conocimiento y las habilidades necesarias para llevar a cabo sus tareas y responsabilidades, incluyendo arranque y paro.

**2.7.7.3 Entrenamiento periódico.**

Se debe proporcionar entrenamiento de actualización para asegurar que el personal entiende y se apeg a los procedimientos vigentes de la instalación. Estos cursos se sugiere sean impartidos al menos cada 3 años.

**2.7.7.4 Comunicación de cambios.**

Cuando se efectúe una modificación mayor en los procedimientos de operación, todo el personal involucrado debe ser entrenado o al menos informado del cambio antes de la puesta en marcha de la instalación.

**2.7.7.5 Documentación.**

El entrenamiento debe quedar asentado, para ser revisado o auditado.

**2.7.8. Aseguramiento de la calidad de la integridad mecánica del equipo crítico**

**2.7.8.1 Fabricación**

Se deben establecer e implementar procedimientos escritos de control de calidad que den seguimiento al equipo crítico durante la etapa de fabricación para asegurar que los materiales y la construcción cumplen con las especificaciones de diseño y de seguridad.

**2.7.8.2 Instalación**

Se deben establecer e implementar procedimientos apropiados para la verificación e inspección antes del arranque para asegurar que la instalación del equipo es consistente con las especificaciones de diseño e instrucciones del proveedor.

**2.7.8.3 Sistemas de mantenimiento**

Los sistemas de mantenimiento deben incluir los siguientes puntos:

- a) Procedimientos de mantenimiento y prácticas de trabajo para asegurar la integridad mecánica del equipo.
- b) Entrenamiento de los empleados de mantenimiento en la aplicación de procedimientos.



- c) Procedimientos de control de calidad para asegurar que las partes y equipos de reemplazo e implementos de mantenimiento cumplen con las especificaciones de diseño.
- d) Procedimientos para asegurar que los empleados de mantenimiento así como de contratistas estén debidamente capacitados.
- e) Procedimientos para asegurar que todos los cambios en la tecnología y en la instalación han sido revisados e implementados adecuadamente.

#### **2.7.8.4 Pruebas e inspección**

Estos programas deben incluir los siguientes puntos:

- a) Una lista de los equipos y servicios críticos a ser sujetos del programa de pruebas e inspección. Esta lista debe incluir tanques de almacenamiento, recipientes a presión, válvulas y cabezal de desfogue y sistemas de protección (lavadores de gases, discos de ruptura, válvulas de seguridad).
- b) Procedimientos de prueba e inspección que cumplen con códigos y estándares aceptados.
- c) Documentación de pruebas e inspección realizadas, para contribuir a la determinación de la necesidad de cambios en la frecuencia de pruebas, inspecciones y mantenimiento preventivo.
- d) Procedimientos para corregir equipo u operaciones deficientes.
- e) Un sistema para la revisión y autorización de cambios en pruebas e inspecciones.

#### **2.7.9. Revisiones previas al arranque**

Se deben realizar para plantas nuevas o modificadas para confirmar que cumplen con los siguientes criterios:

- a) Construcción de acuerdo a especificaciones
- b) Procedimientos de seguridad, operación, mantenimiento y emergencia adecuados y disponibles al personal.
- c) Las recomendaciones a los análisis preliminares de peligros han sido consideradas e implementadas.
- d) Se ha efectuado el entrenamiento al personal de operación.



### **2.7.10. Control y respuesta de emergencias.**

#### **2.7.10.1 Centro de control de emergencia**

Este centro debe establecerse y contar con el siguiente equipo:

- a) Diagrama de localización de equipo de la planta, mapa de la localidad.
- b) Diagrama de servicios incluyendo agua contra incendio.
- c) Iluminación autónoma a falla de suministro.
- d) Comunicaciones de emergencias.
- e) Materiales de referencia apropiados como los siguientes:
  - 1) Lista de dependencias gubernamentales a ser notificadas.
  - 2) Lista de teléfonos del personal de la compañía.
  - 3) Información técnica (manuales de operación, información de seguridad de materiales involucrados en el proceso SMDS)
- f) Acceso a información metereológica.

### **2.7.11. Investigación de incidentes**

#### **2.7.11.1 Generalidades**

2.7.11.1.1 Los incidentes que hayan resultado o tengan la posibilidad de causar una fuga catastrófica deben ser investigados. La investigación debe comenzar lo antes posible, formalizar su función en los siguientes días. La intención de la investigación es aprender del incidente, buscar y eliminar su causa raíz y así prevenir que incidentes similares puedan volver a ocurrir.

2.7.11.1.2 El equipo formado para la investigación de incidentes debe estar integrado por personas con experiencia en el proceso y con conocimiento de técnicas de investigación de incidentes.

#### **2.7.11.2 Investigación**

Esta debe incluir lo siguientes:

- a) Descripción del incidente.
- b) Los factores que contribuyeron al incidente.
- c) Recomendaciones identificadas como resultado de la investigación.

#### **2.7.11.3 Seguimiento**

2.7.11.3.1 Los hallazgos de la investigación deben ser registrados y utilizarse en futuras actualizaciones de los análisis de peligros de proceso



2.7.11.3.2 La administración debe establecer un plan de trabajo con fechas y responsables de la ejecución para asegurar que las deficiencias encontradas sean eliminadas.

2.7.11.3.3 La información y consideraciones deben ser difundidas a plantas similares dentro de la compañía y en ciertos casos a la industria involucrada en procesos similares.

## 2.7.12. Auditorías a los sistemas de administración de riesgos

### 2.7.12.1 Generalidades.

Las diez actividades anteriores debe ser auditadas periódicamente para asegurar su efectivo cumplimiento

### 2.7.12.2 Reporte de las auditorías

Los resultados de las auditorías serán proporcionados al personal administrativo responsable de la planta. La dirección de la planta debe establecer un plan de trabajo para definir un programa de respuesta a los hallazgos para asegurar una resolución satisfactoria.

## 2.8 SIASPA

Una vez visto un ejemplo de un sistema de administración de riesgos desde el punto de vista de la industria petrolera en general, veamos el sistema que PEMEX ha elaborado para asegurar la administración de riesgos dentro de sus instalaciones. A continuación veremos brevemente sus principales características del SIASPA (Sistema Integral para la Administración de la Seguridad y la Protección del Ambiente); no se hace una mayor descripción, pues este sistema ha sido descrito previamente en otra tesis <sup>(6)</sup>.

### 2.8.1 Objetivo

Mejorar el desempeño en materia de seguridad y protección ambiental en el corto y largo plazo e integrar su administración efectiva a la cultura de PEMEX de manera consistente con la política institucional sobre la Seguridad Industrial y Protección Ambiental (SIPA).

### 2.8.2 Estrategia de seguridad y protección ambiental de PEMEX(Ver Fig. 2.8)

Enfoque estratégico en el corto plazo

- Elementos básicos de cumplimiento
- Administración de riesgos
- Desarrollo interno



**Integración de componentes de seguridad y protección ambiental a la cultura de PEMEX.**

**Enfoque estratégico en el largo plazo**

- Tomar ventajas competitivas
- Sustentabilidad

**2.8.2.1 Visión**

- La seguridad y protección ambiental es responsabilidad de todos los empleados y trabajadores de PEMEX.
- PEMEX deberá ser líder nacional de la seguridad y protección ambiental.

**2.8.2.2 Principios claves**

- Custodia
- SISO (Seguridad Industrial y Salud Ocupacional)
- Administración de los recursos naturales
- Asignación de recursos
- Administración de riesgos
- Cumplimiento
- Capacitación y aprendizaje
- Integración con la cultura y funciones de PEMEX
- Interacción con las comunidades
- Responsabilidad

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Fig. 2.8 Estrategia de Seguridad y protección ambiental de PEMEX



### **2.8.3 Implantación**

La implantación en cada instalación se lleva a cabo mediante los siguientes pasos:

- 1) Proceso de auto evaluación**  
Definición de la situación actual comparándola con los requisitos del SIASPA.
- 2) Desarrollar programa global de mejora**  
Definición de acciones de mejora, programas, responsables y asignación de recursos.
- 3) Ejecutar el programa global de mejora**  
Ejecución de acciones del programa.
- 4) Seguimiento y reevaluación**  
Seguimiento y generación de reportes. Elaboración de propuestas para evitar desviaciones y corregir conforme se requiera.

### **2.8.4 Panorama general del SIASPA**

El SIASPA consta de 18 elementos agrupados en tres componentes básicos:

#### **I. Factor humano**

**Elemento 1. Política, liderazgo y compromiso**

- Implantar y difundir la política de seguridad industrial y protección ambiental.
- Hacer visible el liderazgo y compromiso de todos los trabajadores hacia la seguridad y la protección ambiental.

**Elemento 2. Organización**

- Necesaria una estructura para cumplir objetivos.
- Esta estructura debe contar con un organismo regulador y auditor de la función de seguridad y protección ambiental.

**Elemento 3. Capacitación**

- Que los trabajadores reciban la capacitación necesaria para desempeñar adecuadamente las funciones y responsabilidades de su puesto.

**Elemento 4. Salud ocupacional**

- Identificar, evaluar y controlar riesgos o condiciones potencialmente nocivas para la salud de los trabajadores.

**Elemento 5. Análisis de incidentes y difusión de buenas prácticas**

- Desarrollar procedimientos para la investigación de incidentes y su difusión haciendo énfasis en la causa raíz.



**Elemento 6. Control de contratistas**

- Establecer normas y procedimientos de seguridad y protección ambiental para que el desempeño de contratistas y proveedores sea adecuado.

**Elemento 7. Relaciones públicas y con las comunidades**

- Establecer prácticas y procedimientos administrativos para comunicarse activamente con los empleados, visitantes, autoridades y comunidades.

**II. Métodos de trabajo**

**Elemento 8. Planeación y presupuesto**

- Lograr los objetivos a través del desarrollo de planes y programas definidos y la asignación de recursos.

**Elemento 9. Normatividad**

- Satisfacer las necesidades normativas del centro de trabajo.

**Elemento 10. Administración de la información**

- Contar con información confiable, suficiente y oportuna para todas las actividades de operación, mantenimiento y gestión de las instalaciones.

**Elemento 11. Tecnología del proceso**

- Asegurar que las instalaciones estén diseñadas con un nivel de riesgo controlado y aceptable.

**Elemento 12. Análisis de riesgos**

- Identificar, analizar y evaluar riesgos asociados a los factores internos y externos con la finalidad de minimizar las consecuencias en trabajadores, medio ambiente, producción y/o instalaciones.

**Elemento 13. Administración del cambio**

- Asegurar un adecuado análisis, planeación, ejecución, control, registro y difusión de las modificaciones a los materiales, procesos, equipos e instalaciones.

**Elemento 14. Indicadores de desempeño**

- Utilizar índices y estándares que permitan medir los resultados de la gestión de la instalación en aspectos de la administración de la seguridad y protección al ambiente.



**Elemento 15. Auditorias**

- Evaluar sistemáticamente las instalaciones para obtener evidencias que permitan determinar el grado de cumplimiento de los procedimientos y programas.

**III. Instalaciones**

**Elemento 16. Planes y respuesta a emergencias**

- Contar con planes y respuesta a emergencias

**Elemento 17. Integridad mecánica**

- Llevar a cabo las actividades orientadas a aumentar la confiabilidad de los equipos y reducir o eliminar eventos no deseados.

**Elemento 18. Control y restauración**

- Elaboración de planes y programas para la reducción y control de emisiones o descargas y minimizar la generación de residuos y la restauración de sitios contaminados.

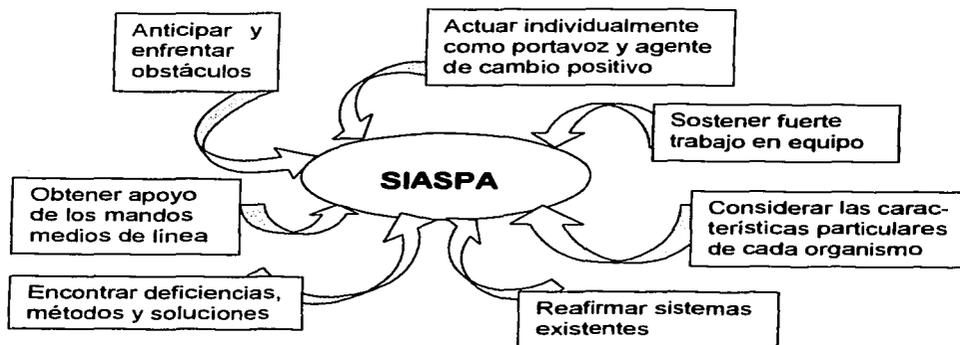


Fig. 2.9 Beneficios de la implementación del SIASPA.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 3. Trabajo de campo

#### 3.1 Descripción del área de almacenamiento de gas LP

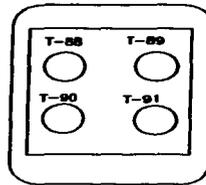
En el patio Oriente de la refinería Francisco I. Madero se localiza el área de almacenamiento de gas licuado, (ver diagrama de localización de equipo). En dicha área se almacenan las siguientes mezclas de gas: propano, propano-propileno, butano, butano-butileno, isobutano y gas LP. Para el manejo de dichas mezclas se cuenta con el siguiente equipo, junto con sus principales características:

12 Tanques esféricos de almacenamiento.

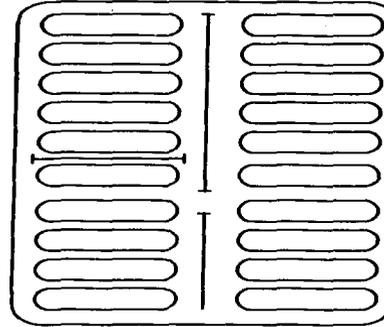
TANQUE	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD (BLS)	PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIAMETRO (m)
MJA-T-43	Butano-butileno	10,000	15	14.6
MAJ-T-44	Fuera de operación	10,000	15	14.6
MJA-T-58	Butano-butileno	10,000	15	14.6
MAJ-T-66	Isobutano	5,000	15	11.6
MAJ-T-93	Isobutano	10,000	15	14.6
MJA-T-201	Butano	5,000	6	11.6
MJA-T-202	Fuera de operación	5,000	6	11.6
MJA-T-203	Butano	5,000	6	11.6
MJA-T-226	Gas LP	15,000	16.2	16.4
MJA-T-228	Gas LP	15,000	16.2	16.4
MJA-T-233	Gas LP	15,000	16.2	16.4
MJA-T-234	Butano-butileno	15,000	16.2	16.4

Tabla 3.1 Descripción de Tanques Esféricos.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

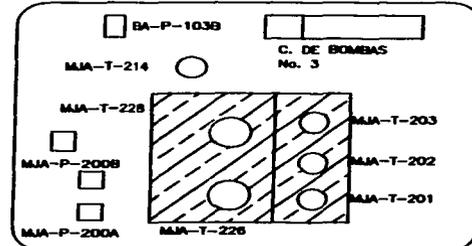
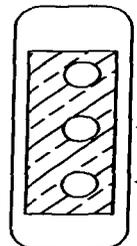
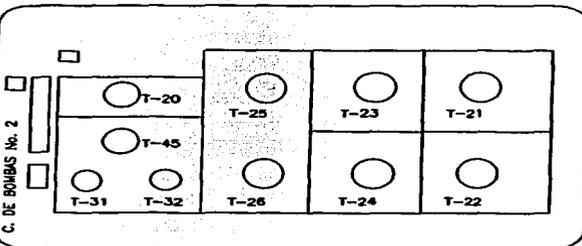
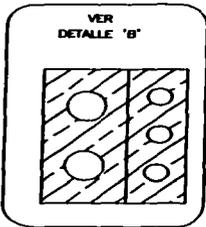
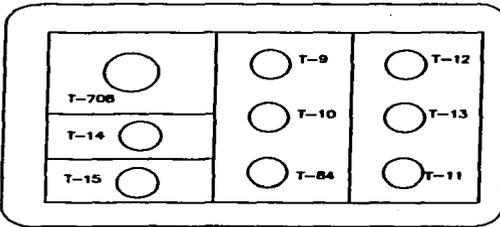


- MJA-T-33
- MJA-T-34
- MJA-T-35
- MJA-T-36
- MJA-T-37
- MJA-T-42
- MJA-T-38
- MJA-T-39
- MJA-T-40
- MJA-T-41



- MJA-T-94
- MJA-T-95
- MJA-T-96
- MJA-T-97
- MJA-T-98
- MJA-T-204
- MJA-T-205
- MJA-T-206
- MJA-T-207
- MJA-T-208

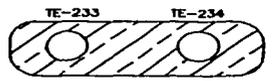
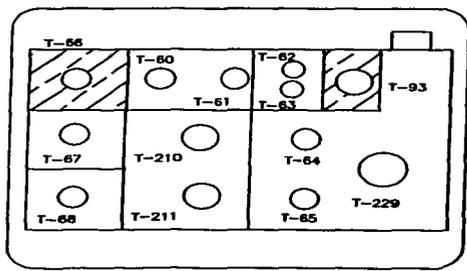
**DETALLE 'A'**



**DETALLE 'B'**

TANQUE HORIZONTAL	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD
MJA-T-33	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-34	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-35	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-36	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-37	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-38 (F.O.)	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-39 (F.O.)	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-40 (F.O.)	PROPANO	700 BLS
MJA-T-41 (F.O.)	PROPANO	700 BLS
MJA-T-42 (F.O.)	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-94	PROPANO	700 BLS
MJA-T-95	PROPANO	700 BLS
MJA-T-96	PROPANO	700 BLS
MJA-T-97	PROPANO	700 BLS
MJA-T-98	PROPANO	700 BLS
MJA-T-204	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-205	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-206	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-207	PROPANO / PROPILENO	700 BLS
MJA-T-208	PROPANO / PROPILENO	700 BLS

TANQUE ESFERICO	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD
MJA-T-43	BUTANO-BUTILENO	10,000 BLS
MJA-T-44	FUERA DE OPERACION	10,000 BLS
MJA-T-58	BUTANO-BUTILENO	10,000 BLS
MJA-T-68	ISOBUTANO	5,000 BLS
MJA-T-93	ISOBUTANO	10,000 BLS
MJA-T-201	BUTANO	5,000 BLS
MJA-T-202	FUERA DE OPERACION	5,000 BLS
MJA-T-203	BUTANO	5,000 BLS
MJA-T-226	GAS LP	15,000 BLS
MJA-T-228	GAS LP	15,000 BLS
MJA-T-233	GAS LP / ISOBUTANO	15,000 BLS
MJA-T-234	BUTANO-BUTILENO	15,000 BLS



**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**



EQUIPOS INCLUIDOS EN EL AREA DE GASES LICUADOS

**UNAM F.Q.** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA

Localización de tanques de almacenamiento de gas LP **Diagrama 3.1**

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



### 3.- Trabajo de campo.

En el patio Oriente se encuentran dos tanques esféricos, construidos para almacenar tetrámero, durante el periodo de realización del análisis estos tanques se encontraban fuera de operación, sólo se incluyen en este trabajo aquellos que almacenan gases licuados.

20 Tanques de almacenamiento horizontales.

TANQUE	PRODUCTO ALMACENADO	CAPACIDAD (BLS)	PRESIÓN DE DISEÑO (Kg/cm <sup>2</sup> )	DIAMETRO (m)	LONGITUD (m)
MJA-T-33/37	Propano-propileno	700	17.5	2.74	18.3
MJA-T-38/42	Fuera de operación	700	17.5	2.74	18.3
MJA-T-94/98	Propano	700	17.5	2.74	18.3
MJA-T-204/208	Propano-propileno.	700	17.5	2.74	18.3

Tabla 3.2 Descripción de tanques horizontales.

Tres casas de bombas.

CASA DE BOMBAS	BOMBAS
1	MJA-P-9/9A
	MJA-P-10A/B
	MJA-P-17A/B
2	MJA-P-104A/B
3	MJA-P-201-A/B
	MJA-P-202-A/B
	MJA-P-203-A/B
	MJA-P-204-A/B
	MJA-P-205-A/B (fuera de operación)

Tabla 3.3 Ubicación de las bombas.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



También se cuenta con las bombas MJA-P-200 A/B que no se encuentran en ninguna de las casas antes mencionadas, éstas se localizan afuera del dique de contención de los tanques esféricos de almacenamiento MJA-T-226 y MJA-T-228.

Las corrientes almacenadas en los tanques esféricos MJA-T-226, MJA-T-228 y MJA-T-233 provienen de distintas plantas. La preparación del contenido (gas LP), se realiza por la mezcla de dichas corrientes. A la mezcla se le realizan pruebas por parte del laboratorio de la refinería con el fin de verificar que cumplan con las normas, una vez aceptada su composición se envía al área de ventas.

La mezcla de propano-propileno proveniente de la planta desintegradora catalítica "ME" se almacena en los tanques horizontales MJA-T-33/38 y MJA-T-204/208. Esta mezcla es enviada mediante las bombas MJA-P-201 A/B a la compañía INDELPRO (localizada fuera de la refinería). En dicha empresa separan el propano del propileno, este último se usa en el proceso de la propia empresa, mientras el propano es regresado a la refinería y se almacena en los tanques MJA-T-94/98 y luego se envía al área de ventas o se utiliza para la preparación de gas LP.

La mezcla butano-butileno proveniente de la planta desintegradora catalítica se envía para su almacenamiento a los tanques esféricos MJA-T-43, MJA-T-44, MJA-T-58 y MJA-T-234, posteriormente se bombea a la planta preparadora de carga "CK" donde se cuenta con una torre debutanizadora, el butano se envía a los tanques esféricos MJA-T-201, MJA-T-202 y MJA-T-203 mediante las bombas MJA-P-104 A/B; el butileno es enviado a la planta de butadieno usando las bombas MJA-P-202 A/B.

Se muestra un diagrama de bloques de las corrientes en el diagrama 3.2 y en la tabla 3.4 se resumen las operaciones efectuadas en el Sector 6.

El butano proveniente de la planta fraccionadora de gases "CH" y de la reformadora se almacena en los tanques esféricos MJA-T-201 y MJA-T-203 para posteriormente enviarlo a los tanques MJA-T-226, MJA-T-228 y MJA-T-233 para la preparación de gas LP.

Por último además de los productos antes mencionados se recibe isobutano de barcos, el cual se almacena en las esferas MJA-T-66 y MJA-T-93 para su posterior envío a la planta de alquilación o a la planta MTBE mediante las bombas MJA-P-104 A/B.



Producto	Se recibe de	Almacenamiento	Destino	Bombas
Propano/ propileno	ME	MJA-T-33/38 y MAJ-T-204/208	Indelpro	MJA-P-201 A/B
Propano	Indelpro	MJA-T-94/98	MJA-T-226, 228, 233 y ventas	*****
Butano/ butileno	ME	MJA-T-43, MJA-T-44, MJA-T-58 y MJA-T-234	CK	MJA-P-104 A/B
Butano	Reformadora CH y CK	MJA-T-201 MJA-T-202 y MJA-T-203	MJA-T-226, 228, 233 y ventas	MJA-P-202 A/B.
Isobutano	Barcos	MJA-T-66 y MJA-T-93.	Planta MTBE o MR.	MJA-P-104 A/B.
Gas LP	MJA-T-94/98 MJA-T- 201/203	MJA-T-226 MJA-T-228 MJA-T-233	Ventas	MJA-P-200 A/B.

Tabla 3.4 Síntesis de las operaciones del patio Oriente.

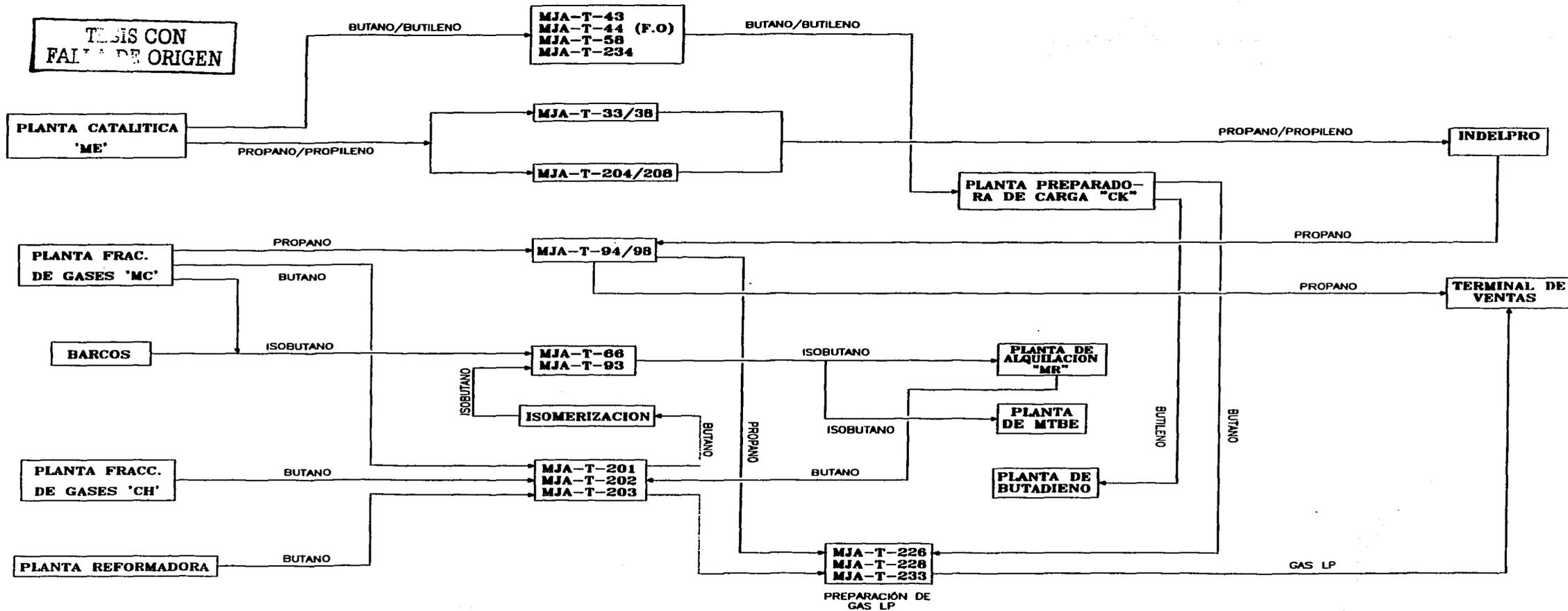
### 3.2 Técnicas utilizadas en el análisis de riesgos

#### 3.2.1 Análisis HazOp (Hazard and Operability Studies)

Un análisis HazOp involucra una revisión sistemática de los documentos que describen una instalación. El estudio se realiza por un equipo multidisciplinario, cuyo objetivo es identificar peligros o problemas en la operación (operabilidad) de la planta que pudieran producir un accidente. Se emplean palabras guías aplicadas a parámetros claves para buscar desviaciones a las condiciones de diseño.

Parámetro: Condición física o química del proceso que puede medirse u obtenerse por la información disponible.

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



TESIS CON FALLA DE ORIGEN



<b>Palabra guía</b>	<b>Significado</b>	<b>Parámetros de proceso</b>	<b>Ejemplos de desviación</b>
<b>No</b>	Negación de la intención	Temperatura Presión Nivel Reacción Composición Flujo Tiempo Viscosidad Mezcla Adición Separación pH	No flujo
<b>Más</b>	Incremento cuantitativo		Mas temperatura
<b>Menos</b>	Disminución cuantitativa		Menos(bajo) nivel
<b>También como</b>	Incremento cualitativo		Presencia de elementos no esperados (impurezas)
<b>Parte de</b>	Disminución cualitativa		Se logra la intención de diseño en forma parcial (mezcla no homogénea)
<b>Inverso</b>	Opuesto a la intención		Flujo inverso
<b>Otro que</b>	Sustitución completa		En lugar del efecto deseado, ocurre algo distinto. Aumento del pH en vez de disminuir

Tabla 3.5 Palabras guía y parámetros de proceso.

Los estudios de peligros y operabilidad se basan en la suposición que la mayoría de los problemas pasan inadvertidos debido a la complejidad del proceso y no por la falta de conocimientos por parte del equipo de diseño. El análisis HazOp es una técnica simple y estructurada para identificar peligros a través del pensamiento creativo. Es una herramienta útil y poderosa cuando se emplea adecuadamente.

El estudio se emplea para:

- a) Analizar donde pueden surgir problemas potenciales y ser un vehículo para posteriores recomendaciones al diseño de la planta o a los procedimientos de operación.
- b) Proporcionar documentación relativa a la seguridad a cada nivel de operadores de acuerdo a sus tareas y responsabilidades.



- c) Durante modificaciones o ampliaciones a plantas existentes, puesto que cambios al diseño pueden producir problemas no obvios a menos que se revise como parte de un sistema.
- d) Durante la operación, para evaluar detenidamente mejoras al proceso con el fin de asegurar la calidad.

Si se lleva a cabo un estudio y las modificaciones planteadas son implementadas para reducir riesgos, entonces la instalación deberá operar a un nivel de riego menor al que se hallaba antes de realizarse dicho estudio.

El análisis HazOp parte de la base que el proceso no tiene peligros inherentes o problemas de operación, si éste opera conforme a diseño, de acuerdo a los DFP's (Diagramas de Flujo de Proceso) , especificaciones de equipo y procedimientos de operación, esto es, si no se presentan desviaciones no hay problemas en el funcionamiento de la planta.

Participantes:

Facilitador o líder	Debe contar con experiencia en la aplicación de la técnica, mediar discusiones y estimular la generación de ideas
Ingeniero de procesos	Conocimiento de los DTI's
Operador de la planta	Conocimiento de las instalaciones y condiciones de proceso

Apoyo: Ingeniero de instrumentos

" eléctrico

" de seguridad

Elementos del personal de mantenimiento (estático y dinámico)

Secretario.

Es importante mantener el número de personas limitado de 5 a 7 integrantes para asegurar que todos puedan participar. Es deseable que cada uno de los participantes se comprometa a asistir a todas las sesiones del análisis. La asistencia ocasional de personas suplentes a menudo no resulta adecuada. El firme compromiso por parte de los departamentos involucrados para la asignación de tiempo es necesario para el adecuado desempeño del estudio.



#### Acciones previas al estudio:

- Recopilación de información (DTI's, DFP's, descripción del proceso, procedimientos, manuales de operación, información de materiales SMDS).
- Verificar la concordancia entre los diagramas de construcción (as built) con lo encontrado en inspección en campo.
- Asegurar un medio para registrar lo dicho en las sesiones (computadora u otra herramienta).

El éxito de un estudio HazOp depende de la exactitud y extensión de la información disponible. Al desarrollar el estudio puede surgir la necesidad de revisar los procedimientos de operación desde un punto de vista crítico en vez de usarlos sólo como documentos de apoyo.

En algunas ocasiones la extensión de la planta o área de proceso hace necesaria dividir ésta en nodos o circuitos delimitados para una mejor comprensión de la intención de diseño. Un nodo debe ser lo suficientemente grande para ser significativo. Antes de empezar a tratar un nuevo nodo, es conveniente hacer un resumen de la función o etapa del proceso, junto con sus variables de operación normales, para asegurar que todos los integrantes tienen el conocimiento básico de la intención de diseño.

Los pasos a seguir durante el estudio pueden resumirse como sigue:

- a) Búsqueda de problemas potenciales
  - 1) Causa (¿Qué lo origina?)
  - 2) Desviación: involucra las palabras guía ( no, más, menos, otro que, etc.)
  - 3) Consecuencias
- b) Evaluación semi-cuantitativa dada por la frecuencia y la gravedad de ocurrencia de las consecuencias.

Nivel	Frecuencia
1	No más de una vez en la vida de la planta
2	Hasta una vez en diez años
3	Hasta una vez en cinco años
4	Hasta una vez en un año
5	Más frecuente que una vez al año

Tabla 3.6 Nivel de riesgo con respecto a la frecuencia.





### 3.- Trabajo de campo.

Los problemas potenciales considerados, esto es, las consecuencias de las desviaciones deben ser evaluados conforme vayan surgiendo, asignándoles por medio de índices la severidad y frecuencia para conformar una matriz de riesgos. Esto se efectúa en dos ocasiones, la primera sin considerar protecciones o salvaguardas, la segunda tomando en cuenta los programas de mantenimiento preventivo, las protecciones, las medidas de control y respuesta a emergencias.

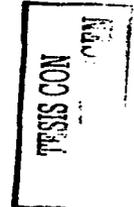
Nivel	Gravedad
1	No tiene impacto en la planta, personal o equipo
2	Daños solo al equipo o fugas menores
3	Lesiones al personal de la unidad, todas las consecuencias se contienen en la instalación
4	Daños y destrucción mayores a la instalación, consecuencias limitadas fuera de la instalación
5	Daños y destrucción mayores a la instalación, y/o consecuencias extensas fuera de la instalación

Tabla 3.7 Nivel de riesgo con respecto a la gravedad.

Los niveles de frecuencia y gravedad se combinan en una matriz de riesgos la cual permite clasificar y jerarquizar las recomendaciones relacionadas con las desviaciones planteadas.

		G r a v e d a d				
		1	2	3	4	5
F r e c u e n c i a	1	C	C	B	B	B
	2	C	B	B	B	A
	3	C	B	B	A	A
	4	B	B	A	A	A
	5	B	A	A	A	A

Fig. 3.1 Matriz de riesgos





**Clase A:** las recomendaciones con un índice de 8 a 10 tienen la más alta prioridad, esto significa que es necesaria una acción inmediata para disminuir la ocurrencia o mitigar las consecuencias

**Clase B:** las recomendaciones con un índice de 4 a 7 tienen una prioridad media, estas recomendaciones deben ser evaluadas mediante un análisis costo-beneficio, se recomienda disminuir su frecuencia siempre que los costos involucrados no resulten muy altos.

**Clase C:** las recomendaciones con un índice de 1 a 3 tienen una baja probabilidad y consecuencias no graves, habitualmente representan riesgos tolerables, se recomienda seguir utilizando los controles adecuados para mantener tales niveles de riesgo.

#### **Ventajas del HazOp**

- Es fácil de aprender
- Puede ser adaptado fácilmente a casi cualquier operación efectuada dentro de la industria de proceso
- No requiere un grado de conocimiento avanzado por parte de los integrantes.

Al finalizar el análisis HazOp tendremos las hojas donde se capturan las desviaciones, con sus respectivas causas, consecuencias y recomendaciones clasificadas de acuerdo a la matriz de riesgos. Estas recomendaciones se agrupan en relación a su clasificación, posteriormente son evaluadas por los responsables de la seguridad de la instalación y serán enviadas a la dirección para elaborar un plan de trabajo, donde se asignará(n) responsable(s) de llevar a cabo las acciones recomendadas y los tiempos de ejecución.

#### **3.2.2 Análisis de árbol de fallas (FTA Fault Tree Analysis)**

La predicción de fallas de un equipo se realiza habitualmente de manera empírica, recogiendo datos de funcionamiento de un número representativo de equipos durante un tiempo suficientemente prolongado y ajustando estadísticamente las fallas observadas a una determinada distribución de probabilidad.

Un árbol de fallas es una representación lógica de las secuencias de acontecimientos que pueden llevar a un evento no deseado arbitrariamente elegido conocido como suceso culminante o evento tope. Cuando todas las secuencias razonables se han identificado y el árbol está bien construido, el análisis FTA es posiblemente la herramienta más poderosa para la cuantificación de riesgos.



Los errores en la construcción y la aplicación del árbol de fallas son de tipo cualitativo, surgen comúnmente por las siguientes causas<sup>(4)</sup>:

- El sistema al que se aplica el análisis no se comprende bien por parte de los analistas. Esto produce frecuentemente omisiones en secuencias de sucesos importantes o construcción de secuencias erróneas.
- Se producen errores lógicos en la descripción de las fallas del sistema, obteniéndose evaluaciones cuantitativas incorrectas.
- Los fenómenos de fallas por causa común no se comprenden bien o se tienen en cuenta incorrectamente.



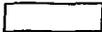
Puerta Y: se obtiene la salida si ocurren todas las fallas de entrada



Puerta O: se obtiene la salida si ocurre una o más de las fallas de entrada



Evento básico: no requiere que se desarrolle en eventos más simples



Evento intermedio: son eventos ocasionados por otros eventos a su vez



Evento no desarrollado: no se desarrolla por carecer de información o no se considera relevante para el análisis

Fig. 3.2 Simbología utilizada en la construcción de un árbol de fallas

El análisis de árbol de fallas consiste en varios niveles de sucesos, conectados por puertas lógicas: puertas Y (And) y puertas O (Or).

Durante el empleo del análisis FTA se distinguen 3 tipos de fallas de equipo<sup>(4)</sup>:

- Fallas primarias ocurren cuando el equipo opera dentro de las condiciones para las que fue diseñado.
- Fallas secundarias se producen en condiciones para las que el equipo no fue diseñado; la falla no es atribuible al equipo sino a las perturbaciones excesivas en las condiciones de diseño.
- Fallas de control son aquellas donde el equipo cumple su función, pero en un tiempo equivocado o en una localización distinta a la esperada. La falla tampoco es atribuible al equipo, sino a la señal que recibe.



En un árbol de fallas normalmente las fallas primarias están en los extremos de las ramas, mientras las fallas secundarias y de control son eventos intermedios unidos a los anteriores y entre sí mediante puertas lógicas.

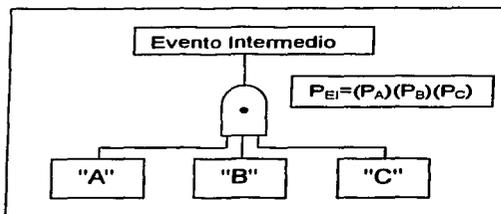


Fig. 3.3 Cálculo de probabilidades de la puerta Y

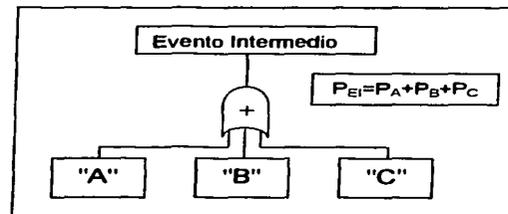


Fig. 3.4 Cálculo de probabilidades de la puerta O

Una parte importante del análisis FTA es la identificación de las agrupaciones de sucesos que pueden dar origen al evento culminante. Estas agrupaciones se denominan *conjuntos de corte* (cut sets). Estos conjuntos, generalmente son susceptibles de simplificarse a un conjunto equivalente con un número menor de elementos denominados *conjuntos mínimos* (minimal cut sets).

Jerarquización de los conjuntos mínimos

La jerarquización de los conjuntos mínimos identificados suele ser el paso final del análisis FTA. Para ello basta considerar dos tipos de factores

- i) Importancia estructural, basada en el número de sucesos básicos en cada uno de los conjuntos mínimos. Se basa en que, en igualdad de otras condiciones, un camino hacia el evento culminante que involucre un solo acontecimiento es más probable que otro que involucre dos.
- ii) Tipo de sucesos involucrados, la regla en este caso es primero errores humanos, segundo fallas de equipo activo (bombas, válvulas, medidores, etc.) y tercero fallas en equipos pasivos (estructuras, recipientes, tubería, etc). Se basa en la consideración de que un error humano es más probable que una falla en un equipo dinámico y esta es más probable que una falla en un equipo pasivo.

Por supuesto, la jerarquización anterior sólo proporciona una orientación de tipo general y puede modificarse en casos particulares, dependiendo del tipo y calidad del



equipo involucrado, el mantenimiento, el entrenamiento de los operadores, etc. Hay que considerar las probabilidades y frecuencias de falla varían mucho de unos equipos a otros, por lo que también es útil realizar una jerarquización cuantitativa de los conjuntos mínimos.

El resultado final de un análisis de árbol de fallas es un valor de la probabilidad o frecuencia para el evento culminante. Este dato se combina con las estimaciones de consecuencias obteniéndose un valor para la EMP (Esperanza Matemática de Pérdidas). En principio los cálculos a efectuar en el análisis de riesgos terminan aquí, una vez establecido el intervalo de confianza para la cifra de frecuencia obtenida.

La EMP es el indicador que permite establecer la comparación entre el nivel de riesgo entre accidentes potenciales diversos.

Cuando se habla de error humano como causa de un accidente suele entenderse que la falla tiene que ver con una acción errónea directamente relacionada con el accidente.

#### 3.2.3 Análisis de árbol de eventos (ETA Event Tree Analysis)

**Propósito:** Un árbol de eventos es un modelo gráfico que identifica y cuantifica los posibles resultados a partir de un evento inicial. El árbol de eventos proporciona la descripción del evento a través de la secuencia de propagación del evento, incluye también medidas de protección con que cuenta el sistema, la intervención de operadores durante el transcurso del evento y medidas de planes de emergencia con la finalidad de mitigar las consecuencias. Su resultado es una serie de escenarios obtenidos a partir del evento inicial.

**Aplicaciones:** Los árboles de eventos se aplican principalmente en dos formas en el análisis de riesgos.

a) **Previo al accidente**

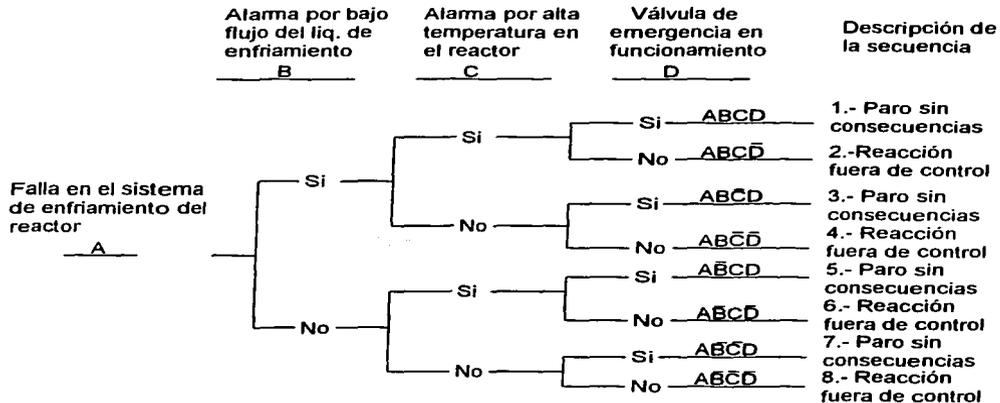
Se examina la instalación con objeto de evitar los eventos precursores que puedan conducir a un accidente mayor sin la intervención de los equipos de protección.

b) **Posteriores al accidente**

Se utiliza para determinar la secuencia de eventos y evaluar si es posible evitar la presencia de ciertas condiciones que propaguen las consecuencias de un accidente.



Descripción: El evento tope de un árbol de fallas puede ser considerado como el evento inicial de un árbol de eventos, la estimación de la frecuencia obtenida puede utilizarse para los siguientes cálculos. Para la construcción del árbol de eventos se emplea el desarrollo de izquierda a derecha. Se inicia con el evento inicial (E.I.) a continuación se agregan las secuencias de eventos relevantes para la seguridad. Estos eventos pueden tener como resultado varias salidas, aunque es común el empleo de condiciones binarias (sí o no).



TEMA CON TEMA DE OPCIÓN

Fig. 3.5 Árbol de eventos

Paso 1: Identificar el evento inicial

Ej. Fuga de material inflamable (butano/butileno)

Paso 2: Identificar funciones de seguridad o factores propagadores del peligro

Una función de seguridad es un instrumento, acción o barrera que puede interrumpir la secuencia a partir del evento inicial (ej. sistemas automáticos, alarmas, diques de contención, aislamiento del incidente).

Un factor propagador del peligro puede afectar el resultado final del evento inicial (ej. la presencia de puntos de ignición cerca de la fuga, condiciones meteorológicas).

Los encabezados deben ser colocados en orden cronológico.



**Paso 3: Construir el árbol de eventos**

El árbol de eventos muestra el desarrollo cronológico de un incidente. Se comienza con un evento inicial. En cada encabezado dos o más alternativas son analizadas hasta obtener un resultado final para cada rama.

Los encabezados de los eventos deben estar indicados en la parte alta del diagrama. Es común utilizar la rama superior en caso de éxito o respuesta afirmativa a la disyuntiva planteada en el encabezado, mientras que la opción de fallo o respuesta negativa se le asigna la rama inferior. A cada uno de los encabezados se le asigna una letra, así cada uno de los resultados tendrá una combinación única asociada. Una barra sobre la letra indica que el evento designado no ocurrió.

**Paso 5: Estimar la probabilidad de cada rama del árbol de eventos**



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 3.6 Diagrama de flujo del análisis de árbol de eventos

En cada encabezado en el árbol de eventos corresponde a la probabilidad condicional de algún resultado si el evento anterior ha ocurrido. La fuente de datos de probabilidad condicional puede obtenerse de registros históricos, datos de plantas de proceso, datos de confiabilidad de equipo. La frecuencia de cada resultado puede ser



determinado, multiplicando la frecuencia del evento inicial por las probabilidades condicionales a lo largo de cada rama que guíe al resultado específico.

Por último es importante revisar los resultados obtenidos, pues datos incorrectos o la omisión de eventos importantes pueden ocasionar resultados equivocados.

**Ventajas:** el árbol de eventos pone de manifiesto el valor y la debilidad potencial de sistemas de protección, especialmente indicando resultados que son consecuencia directa de las fallas de las medidas de protección.

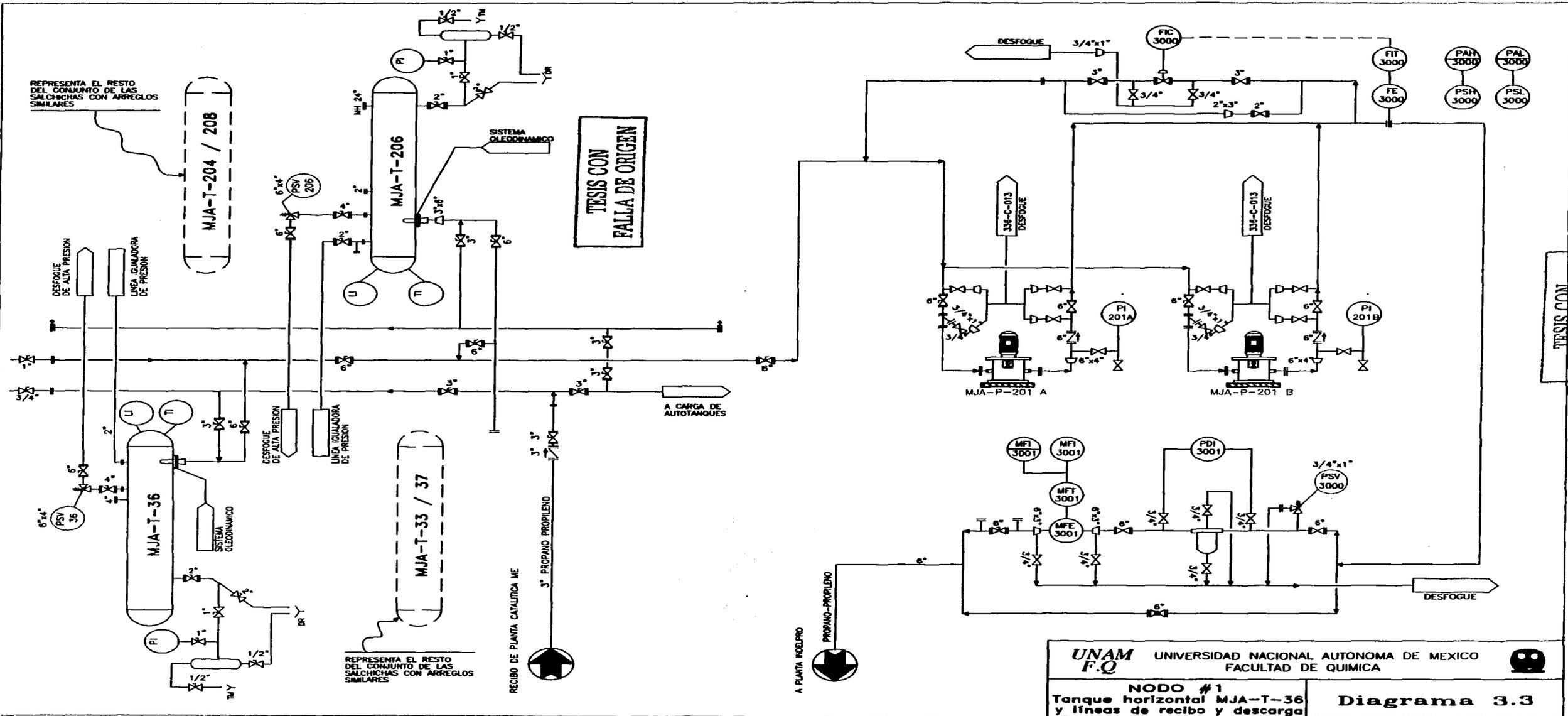


### 3.3 Nodo #1

#### Tanque horizontal MJA-T-36 y líneas de recibo y descarga

Este nodo describe en primer lugar el recibo de la mezcla propano/propileno proveniente de la planta catalítica "ME". El nodo inicia con un arreglo válvula y check de 3" de diámetro, a continuación esta línea se divide pudiendo enviar producto a los tanques MJA-T-33/38 o a los tanques MJA-T-204/208 según arreglo de las válvulas correspondientes. El tanque horizontal MJA-T-36 cuenta con una válvula de bloque rápido. Esta válvula es mantenida en posición abierto por un sistema hidráulico, el cual emplea aceite como fluido, este sistema cuenta con fusibles cerca del tanque al fundirse por calor (presencia de fuego), estos fusibles permiten la salida del fluido y la válvula pasa a posición de cerrado. El tanque cuenta con un arreglo para toma de muestra y una línea conectada a una válvula de seguridad PSV, la cual esta calibrada a 16.8 atm (247 psig) y se conecta al sistema de desfogue de alta presión de la refinería, estas líneas de desfogue descargan al quemador de la refinería pasando por un separador de fases. El tanque cuenta también con una línea de 2" la cual se conecta a su vez a otros tanques horizontales y se le conoce como línea igualadora de presión. En las cercanías del tanque se encuentra un detector de mezclas explosivas. Los tanque horizontales cuentan con espreas como parte del sistema contra incendio de la refinería.

La descarga del tanque se realiza por una línea de 6" en su trayecto esta línea puede recibir la descarga de los otros tanques horizontales que contienen la mezcla propano/propileno. Esta mezcla es succionada por las bombas MJA-P-201 A y B las cuales cuentan con un arreglo que permite purgar el contenido de las líneas hacia desfogue, tanto en la succión como en la descarga. Posteriormente antes de ser enviada la mezcla a la compañía Indelpro, se hace pasar por un arreglo de medición, el cual cuenta con una válvula de seguridad conectada al sistema de desfogue y un bypass de 6".



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

<b>UNAM</b> <b>F.Q.</b>		UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	
NODO #1 Tanque horizontal MJA-T-36 y líneas de recibo y descarga		<b>Diagrama 3.3</b>	

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000								
	Nodo 1: Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno										
	Diagramas: DTI-336-D-003 y 336-D-004						Producto: Propano-propileno				
Desviación: Más nivel											
LOI: 20%			LOS: 80%			LSI:			LSS:		
Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
1.	1. Falla en el sistema indicador de nivel LI (rotogage)	1. Releva la PSV-36. 2. Fuga por accesorios. 3. Represionamiento en el domo de la torre 7 de la FCC. 4. Congelamiento de la línea de desfogue con fragilización. 5. Daño estructural en el tanque. 6. Explosión e incendio.	4	4	9	1. Válvula de seguridad PSV-36. 2. Accionamiento manual de la válvula Vickers. 3. Línea igualadora de presión. 4. Línea directa al desfogue. 5. Simulacros operacionales.	3	3	6	1. En cada paro institucional de la planta FCC (cada dos años), dar mantenimiento al rotogage. 2. Seguir cumpliendo con el patrullaje operacional. 3. Instalar señalización con alarma sonora y luminosa de alto nivel al cuarto de control MJA casa de bombas 1. 4. Continuar con la comunicación de aviso de alta presión en la torre 7 de FCC al cuarto de control MJA-casa de bombas 1.	B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000
	Nodo 1: Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno		
	Diagramas: DTI-336-D-003 y 336-D-004	Producto: Propano-propileno	

Desviación: Más nivel

LOI: 20%

LOS: 80%

LSI:

LSS:

E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
2.	2. Error humano, el operador no cierra la válvula cuando debe de cerrarla.	1. Releva la PSV-36. 2. Fuga por accesorios. 3. Represionamiento en el domo de la torre 7 de la FCC. 4. Congelamiento de la línea de desfogue con fragilización. 5. Daño estructural en el tanque. 6. Explosión e incendio.	4	5	10	1. Válvula de seguridad PSV-36. 2. Accionamiento manual de la válvula Vickers. 3. Línea igualadora de presión. 4. Línea directa al desfogue. 5. Procedimientos operacionales. 6. Programa de capacitación y adiestramiento a operadores de nuevo ingreso.	5	2	8	1. Actualización del programa de capacitación y adiestramiento para el personal de nuevo ingreso. 2. Que la unidad de Recursos Humanos proporcione personal capacitado.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Área/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000					
	Nodo 1:	Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno									
	Diagramas:	DTI-336-D-003 y 336-D-004				Producto: Propano-propileno					
Desviación: Más nivel											
LOI: 20%			LOS: 80%			LSI:			LSS:		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
3.	3. La válvula de recibo queda atascada en posición de abierto.	1. Releva la PSV-36. 2. Fuga por accesorios. 3. Represionamiento en el domo de la torre 7 de la FCC. 4. Congelamiento de la línea de desfogue con fragilización. 5. Daño estructural en el tanque. 6. Explosión e incendio.	4	5	10	1. Válvula de seguridad PSV-36. 2. Accionamiento manual de la válvula Vickers. 3. Línea igualadora de presión. 4. Línea directa al desfogue. 5. Procedimientos operacionales. 6. Engrasamiento de válvulas macho.	4	3	8	1. Elaborar e implementar un procedimiento de mantenimiento para válvulas macho. 2. Elaborar un estudio para sustituir las válvulas macho actuales por otras que mejoren la operación en el terreno de la seguridad.	A

TESIS CON  
FALLA DE PROCEN

		Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000				
Nodo 1:		Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno									
Diagramas:		DTI-336-D-003 y 336-D-004				Producto: Propano-propileno					
Desviación: Menos nivel											
LOI: 20%		LOS: 80%				LSI:			LSS:		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
4.	1. Falla en el sistema indicador de nivel LI (rotogage).	1. Daño al equipo mecánico. 2. Cavitación de la bomba. 3. Fuga por el sello mecánico de la bomba.	4	3	8	1. Sistema de protección en la bomba por bajo nivel en el tanque MJA-T-36.	3	3	7	1. Instalar señalización con alarma sonora y luminosa por bajo nivel al cuarto de control MJA-casa de bombas 1.	B
5.	2. Error humano.	1. Daño al equipo mecánico. 2. Cavitación de la bomba. 3. Fuga por el sello mecánico de la bomba.	4	3	8	1. Procedimientos operacionales. 2. Programa de capacitación y adiestramiento a operadores de nuevo ingreso.	3	3	7	1. Actualización del programa de capacitación y adiestramiento para el personal de nuevo ingreso. 2. Que la unidad de Recursos Humanos proporcione personal capacitado.	B
6.	3. Falla eléctrica en la estación de botones de paro de la bomba.	1. Daño al equipo mecánico. 2. Cavitación de la bomba. 3. Fuga por el sello mecánico de la bomba.	5	3	9	1. Sistema de protección en la bomba por bajo nivel en el tanque MJA-T-36. 2. Interruptor manual en el centro de control de moleros.	4	2	7	1. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a las botoneras. 2. Efectuar un estudio que determine la frecuencia de mantenimiento preventivo a las botoneras.	B

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

		Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Areal/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000				
Nodo 1:		Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno									
Diagramas:		DTI-336-D-003 y 336-D-004				Producto: Propano-propileno					
Desviación: Mas presión											
LOI:		LOS: 16 Kg/cm <sup>2</sup>			LSI:			LSS: 17.5 Kg/cm <sup>2</sup>			
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
7.	1. Aumento de etanos en la corriente que llega de la planta FCC al MJA-T-36.	1. Relevo de las válvulas PSV's. 2. Pérdida de producto. 3. Desfogos a quemador.	5	1	5	1. PSV's 2. Análisis de laboratorio. 3. Equipo de medición de nivel. 4. Procedimientos operativos. 5. Programa de mantenimiento al equipo de seguridad.	5	1	5	1. En cada paro institucional de la planta FCC (cada dos años), dar mantenimiento al rotogage. 2. Seguir cumpliendo con el patrullaje operacional. 3. Instalar señalización con alarma sonora y luminosa	B
8.	2. Mas presión en la línea de succión debido a la alta presión por líneas bloqueadas y aumento en la temperatura ambiente.	1. Fugas en accesorios y empaques. 2. Ruptura de la línea en puntos débiles. 3. Incendio y explosión.	4	3	5	1. Ninguna.	4	3	5	1. Instalar PSV en la línea de succión de las bombas MJA-P-201 A/B. 2. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos para este caso. 3. Dar cumplimiento en la recepción y mantenimiento de las líneas de succión. 4. Instalar PSV's en las líneas de succión y recibo de los circuitos de gas de alta y baja presión.	A

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000
	Nodo 1: Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno		
	Diagramas: DTI-336-D-003 y 336-D-004	Producto: Propano-propileno	

Desviación: Mas presión

LOI: LOS: 16 Kg/cm<sup>2</sup> LSI: LSS: 17.5 Kg/cm<sup>2</sup>

E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
9.	3. Falla el equipo de medición de nivel en el MJA-T-36.	1. Relevo de las válvulas PSVs. 2. Pérdida de producto. 3. Desfogues a quemador.	5	1	5	1. PSVs 2. Análisis de laboratorio. 3. Equipo de medición de nivel. 4. Procedimientos operativos. 5. Programa de mantenimiento al equipo de medición.	5	1	5	1. Instalar señalización con alarma sonora y luminosa por alto nivel al cuarto de control MJA casa de bombas #1. 2. Elaborar un estudio para sustituir las válvulas macho actuales por otras que mejoren la operación en el terreno de la seguridad. Válvulas motorizadas con doble sello o válvulas con internos de teflón. 3. Seguir cumpliendo con el patrullaje operacional. 4. Que la unidad de Recursos Humanos proporcione personal capacitado. 5. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos aplicables para este caso.	B

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000
	Nodo 1: Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno		
	Diagramas: DTI-336-D-003 y 336-D-004	Producto: Propano-propileno	

Desviación: Mas presión

LOI: LOS: 16 Kg/cm<sup>2</sup> LSI: LSS: 17.5 Kg/cm<sup>2</sup>

E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
10.	4. Falla del check en la descarga de la bomba MJA-P-201 A/B y falla de corriente eléctrica	1. Represionamiento en la línea, bombas y tanque horizontal. 2. Fugas en accesorios y empaques. 3. Ruptura de la línea en puntos débiles. 4. Incendio o explosión.	2	3	6	1. Válvula de seguridad del tanque horizontal.	2	3	6	1. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos aplicables para este caso.  2. Instalar PSV en la línea de succión de las bombas MJA-P-201 A/B.	B
11.	5. Error humano.	1. No alinear la línea de la descarga de la bomba.	2	3	6	1. Ninguna.	2	3	6	1. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos aplicables para este caso.  2. Actualización del programa de capacitación y adiestramiento para el personal.  3. Que la unidad de Recursos Humanos proporcione personal capacitado.  4. Que la Administración y Recursos Humanos proporcione el personal suficiente para que las guardias estén completas.	B

		Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Arealproceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000				
Nodo 1:		Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno									
Diagramas:		DTI-336-D-003 y 336-D-004				Producto: Propano-propileno					
Desviación: Mas presión											
LOI:		LOS: 16 Kg/cm <sup>2</sup>				LSI:			LSS: 17.5 Kg/cm <sup>2</sup>		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
12.	6. Válvulas de 6" antes o después del patín de medición cerradas.	1. Represionamiento en la línea y bombas. 2. Fugas en accesorios y empaques. 3. Incendio y explosión.	2	3	6	1. Ninguna.	2	3	6	1. Realizar estudio para la relocalización de la válvula PSV 300-1 antes del primer bloqueo del propano producto Indelpro-Refinería. 2. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos aplicables para este caso.	A
13.	7. Mas presión en la llegada de propano de la compañía Indelpro a los MJA-T 94, 95, 96, 97, 98 por bloqueo en la entrada del patín de medición por parte de Refinería.	1. Fugas en accesorios y empaques en el propano producto Indelpro-Refinería. 2. Ruptura de la línea en puntos débiles. 3. Incendio y explosión.	2	5	8	1. Ninguna.	2	5	8	1. Realizar estudio para la relocalización de la válvula PSV 300-1 antes del primer bloqueo del propano producto Indelpro-Refinería 2. Verificar que la compañía Indelpro tenga instalada una válvula de seguridad en la línea de descarga de propano al propano producto. 3. Realizar un análisis de riesgos, conjuntamente compañía Indelpro-Refinería Madero, al propano producto y al propileno producto.	B

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.		Área/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 6 y 19 de Octubre de 2000				
	Nodo 1: Tanque Horizontal MJA-T-36 y líneas de succión y descarga de propano-propileno										
	Diagramas: DTI-336-D-003 y 336-D-004						Producto: Propano-propileno				
Desviación: Menos seguridad											
LOI:		LOS:				LSI:				LSS:	
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
14.	1. Falta de reforzar mediante bardas y rondines de vigilancia el acceso al área de bloqueos de los ductos de propano y propano-propileno en las partes intermedias Indelpro-Refinería (Montes).	1. Posible sabotaje en los bloqueos en los ductos de propano y propano-propileno	3	5	9	1. Ninguna.	3	5	9	1. Instalar bardas y casetas de vigilancia que controle el acceso al área de bloqueos de los ductos de propano y propano-propileno en las partes intermedias Indelpro-Refinería.	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 3.4 Nodo #2

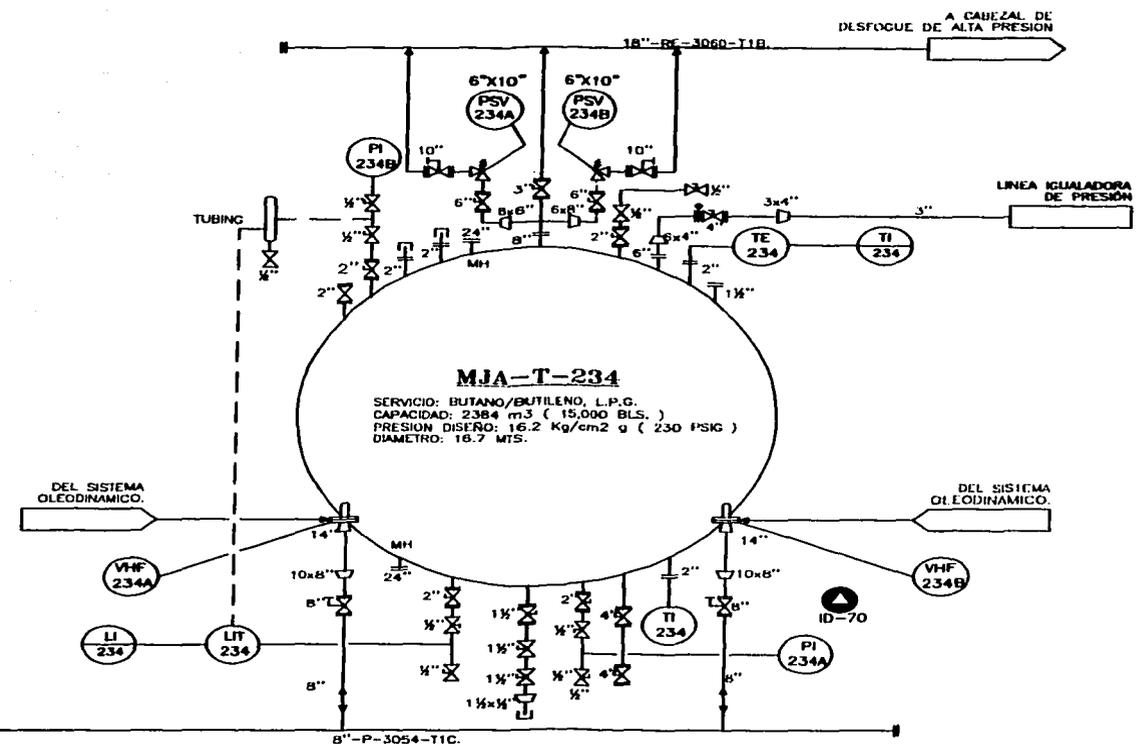
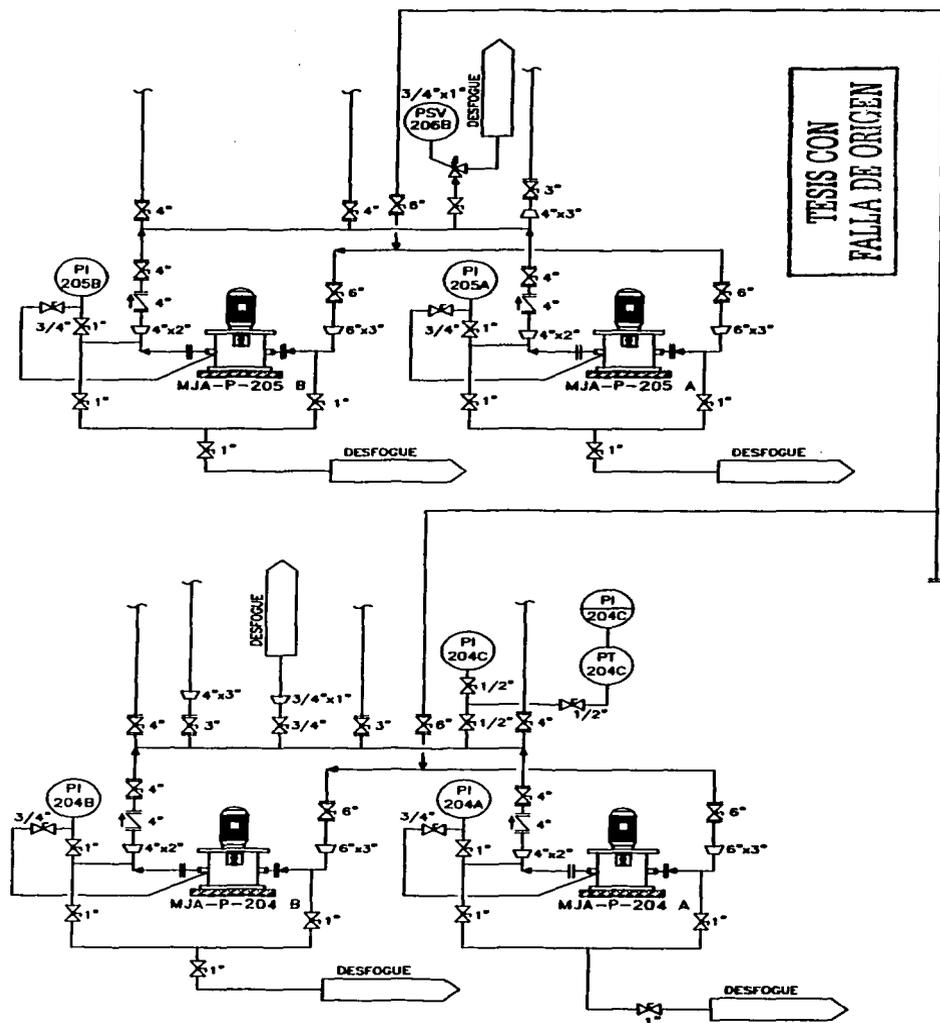
#### Succión del tanque MJA-T-234 a bombas MJA-P-204 Y 205

El tanque MJA-T-234 cuenta con un sistema contra incendio con tres niveles de aspersores a distintas alturas y una salida de agua en la parte superior del tanque. El tanque cuenta también con dos válvulas de bloque rápido una en el recibo y otra en la succión, cuenta con dos arreglos con válvulas de seguridad conectadas al sistema de desfogue de alta presión de la refinería. En la parte superior e inferior se cuenta con detectores de mezclas explosivas (Id. 70 y 71). También cuenta con instrumentación que mide la presión, temperatura y nivel, estos datos son enviados a cuarto de control.

El contenido del tanque esférico es succionado por medio de una línea de 8" la cual tiene dos derivaciones de 6", una se conecta a las bombas MJA-P-204 A/B y la otra a las bombas MJA-P-205 A/B.

Estas bombas son de impulsor vertical y cuenta con arreglo para la descarga al sistema de desfogue de la refinería. Estas bombas se encuentran dentro de la casa de bombas #3, la cual cuenta con sistema contra incendio por medio de espreas dirigido a cada una de las bombas y varios detectores de mezclas explosivas.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

NOTA: SE MUESTRAN TRUNCADAS LAS LINEAS DE DESCARGA CON OBJETO DE SIMPLIFICAR EL DIAGRAMA DEL NODO ANALIZADO.

<b>UNAM</b> <b>F.Q.</b> UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA		
<b>NODO #2</b> Succión del Tanque MJA-T-234 a bombas 204 y 205		<b>Diagrama 3.4</b>

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6, patio Oriente	Fecha: 30 de Octubre de 2000								
	Nodo 2: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-TE-234 a las bombas 204 A/B y 205 A/B										
	Diagramas: DTI 336-D-006, 336-C-010 y 336-D-009	Producto: Butano-butileno									
Desviación: Mas presión											
LOI:		LOS:			LSI:			LSS:			
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
15.	1. Bloqueo de la válvula de 8" de la línea P-3055-TIC y las válvulas de 6" en la succión de las bombas MJA P 204 Y 205 A/B.	1. Represionamiento de la línea salida de esferas y succión de bombas.  2. Fugas en accesorios y puntos débiles de la línea.	5	2	0	1.Ninguna.	5	2	0	1. Realizar el estudio pertinente para instalar válvulas PSV en la línea de 8" P-3055-TIC.  2. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de tanque esférico MJA-TE-234.	A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 30 de Octubre de 2000								
	Nodo 2: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-TE-234 a las bombas 204 A/B y 205 A/B										
	Diagramas: DTI 336-D-006, 336-D-009 y 336-C-010	Producto: Butano-butileno									
Desviación: Mas temperatura											
LOI:	LOS:	LSI:	LSS:								
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
16.	1. Aumento en la temperatura ambiente con el bloqueo del circuito válvula de 8" de la línea P-3055-TIC y las válvulas de 6" en la succión de las bombas MJA P 204 Y 205 A/B.	1. Represionamiento de la línea salida de esteras y succión de bombas.  2. Fugas en accesorios y puntos débiles de la línea.	5	2	8	1. Ninguna.	5	2	8	1. Realizar el estudio pertinente para instalar válvulas PSV en la línea de 8" P-3055-TIC.  2. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de tanque esférico MJA -TE-234.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 30 de Octubre de 2000								
	Nodo 2: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-TE-234 a las bombas 204 A/B y 205 A/B										
	Diagramas: DTI 336-D-006, 336-D-009 y 336-C-010	Producto: Butano-butileno									
<b>Desviación: Menos Instrumentación</b>											
<b>LOI:</b>	<b>LOS:</b>			<b>LSI:</b>			<b>LSS:</b>				
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
17.	1. Falta de aplicación del procedimiento global interno de comunicación de las diferentes áreas de la refinería (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia).	1. Instalaciones deficientes en instrumentación.	5	4	10	1. Instrumentación existente.	5	2	8	1. Difundir y aplicar el procedimiento global interno de cambios de las diferentes áreas de la refinería (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia).	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.		Area/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 30 de Octubre de 2000				
	Nodo 2: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-TE-234 a las bombas 204 A/B y 205 A/B										
	Diagramas: DTI 336-D-006, 336-D-009 y 336-C-010						Producto: Butano-butileno				
Desviación: Menos Seguridad											
LOI:			LOS:			LSI:			LSS:		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
18.	1. Error humano.	1. Prácticas operativas inadecuadas en recibo de buque tanque isobutano butanos, LPG y propano propileno y recibo de corrientes plantas.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de barcos de isobutano, butanos, LPG y propano propileno. 2. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	A
19.	2. Personal insuficiente en la SITSI.	1. Insuficiente supervisión técnica en el área del almacenamiento de LPG.	5	2	8	1. Ninguna.	5	2	8	1. Asignar personal de SITSI capacitado para esta área de almacenamiento de LPG.	A
20.	3. Pasar por alto aspectos de seguridad	1. Incidentes no previstos.	5	2	8	1. Ninguna.	5	2	8	1. Asignar personal de SITSI capacitado para esta área de almacenamiento de LPG. 2. Evitar que el personal de turno doble guardias en exceso.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 3.5 Nodo #3

#### Succión del tanque MJA-T-233 a bombas MJA-P-200 A/B a terminal marítima

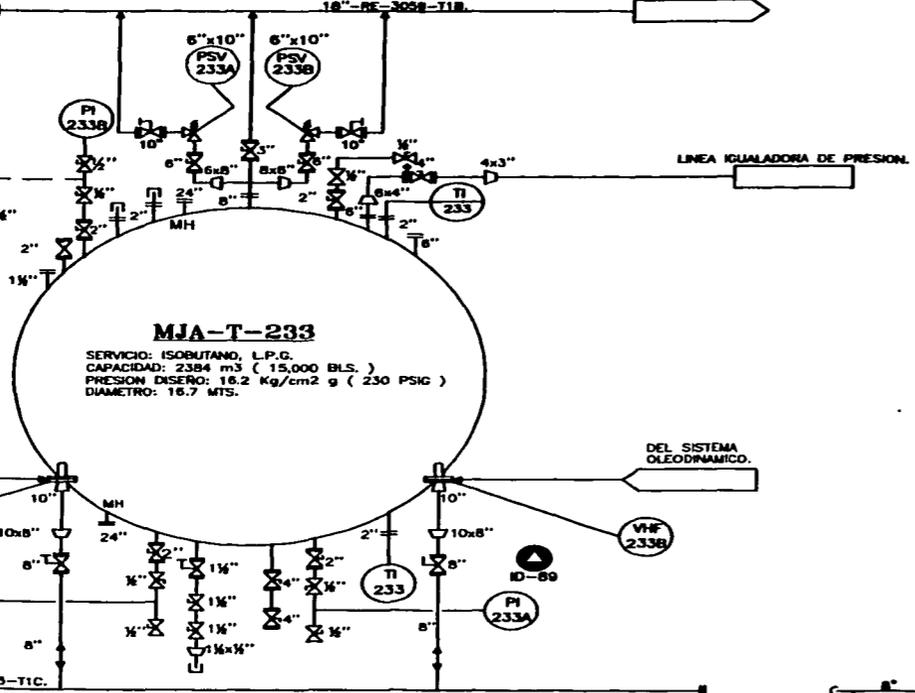
El tanque MJA-T-234 cuenta con un sistema contra incendio con tres niveles de aspersores a distintas alturas y una salida de agua en la parte superior del tanque. El tanque cuenta también con dos válvulas de bloque rápido una en el recibo y otra en la succión, cuenta con dos arreglos con válvulas de seguridad conectadas al sistema de desfogue de alta presión de la refinería. En la parte superior e inferior se cuenta con detectores de mezclas explosivas (Id. 89 y 90). También cuenta con instrumentación que mide la presión, temperatura y nivel, estos datos son enviados a cuarto de control.

El contenido del tanque esférico es succionado por medio de una línea de 8" la cual tiene una derivación de 6", la cual se conecta a otra línea de 8", esta línea tiene una reducción 6"x8" de esta línea salen 2 derivaciones para las bombas MJA-P-200 A y B respectivamente. La descarga de estas bombas es de 4"; la línea de descarga se conecta a una línea de 6". Posteriormente esta línea cuenta con un arreglo de medición, el cual registra y envía su señal a cuarto de control, por último la línea entra a la terminal marítima de la refinería, límite de batería del estudio. En el trayecto las líneas mencionadas cuentan con válvulas PSV conectadas al sistema de desfogue de la refinería para evitar sobrepresión en cualquiera de ellas.

TESIS CON CALIFICACION

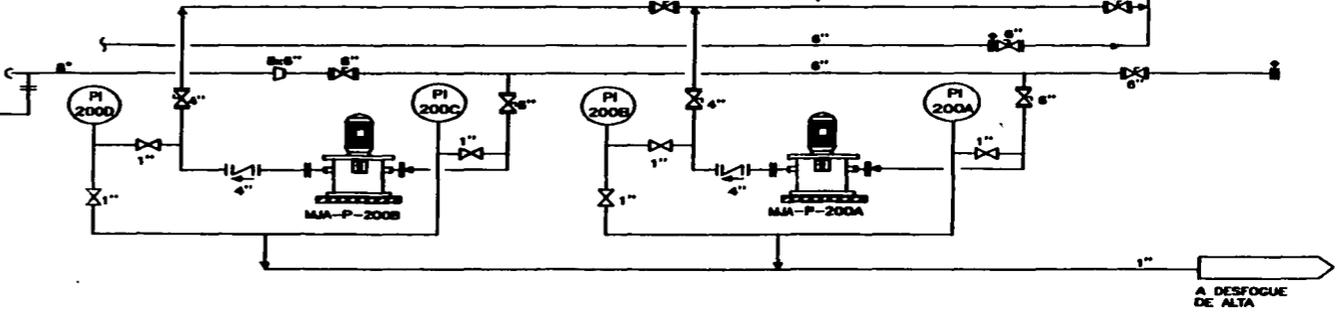
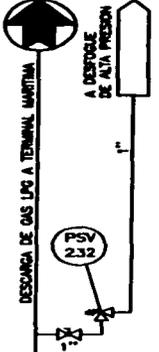
DEL SISTEMA OLEODINAMICO.

A CABEZAL DE DESFOQUE DE ALTA PRESION



NOTA: SE MUESTRAN ALGUNAS LINEAS TRUNCADAS CON OBJETO DE CENTRAR LA ATENCION EN EL NODO ANALIZADO.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



CASA DE BOMBAS #3

A DESFOQUE DE ALTA PRESION

UNAM UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA

NODO #3 Succión del Tanque MJA-T-233 a terminal marítima

Diagrama 3.5

											
Compañía: Refinería Francisco I. Madero.				Área/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000			
Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima											
Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010						Producto: Gas LP					
Desviación: Bajo Nivel											
LOI: 20%			LOS:			LSI: 10%			LSS:		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
21.	1. Falta el indicador de nivel.	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	2	8	1. Se tiene programa de mantenimiento preventivo de indicadores de nivel. 2. Lista de verificación semanal de indicación de niveles.	5	2	8	1. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 2. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio. 3. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B. 4. Institucionalizar la lista de verificación semanal de niveles.	A
22.	2. Falta de cumplimiento en los fondajes de esferas, salchichas y tanques.	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. No dar sugerencias para operar los equipos por abajo de su fondaje. 2. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento para cumplir con los fondajes preestablecidos de los tanques de almacenamiento.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima		
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010	Producto: Gas LP	

Desviación: No flujo

LOI:		LOS:			LSI:			LSS:				
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase	
23.	1. Válvulas Vickers de salida de la esfera no operan.	1. Cavilación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 2. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio. 3. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B. 4. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a las válvulas Vickers de entrada y de salida de la esfera. 5. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento para entrega de válvulas Vickers.	A	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima		
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010	Producto: Gas LP	

Desviación: No flujo

LOI:		LOS:			LSI:			LSS:			Clase
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	
24.	2. Alguna de las válvulas que se encuentran entre la esfera 233 y la bomba 200 A/B se encuentre cerrada o bloqueada.	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	4	4	9	1. Ninguna.	4	4	9	1. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento operacional para alinear la esfera 233 y dar bombeo a terminal de gas con gas LP. 2. Instalar letreros adecuados en las válvulas que se vayan a operar (cerrar, abrir, mantener abierta, etc.) cuando se alinee la esfera 233 con gas LP. 3. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 4. Instalar línea igualadora de presión. 5. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio. 6. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

		Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Área/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000				
Nodo 3:		Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima									
Diagramas:		336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010				Producto: Gas LP					
Desviación: Menos Flujo											
LOI:		LOS:			LSI:			LSS:			
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
25.	1. Menos presión en la esfera.	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	4	10	1. Ninguna	5	4	10	1. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 2. Instalar línea igualadora de presión. 3. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio. 4. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B.	A
26.	2. Gasificación de la línea de succión.	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 2. Instalar línea igualadora de presión. 3. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio.	A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.		Areal/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000				
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima										
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010						Producto: Gas LP				
Desviación: Menos Flujo											
LOI:	LOS:				LSI:			LSS:			
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
										4. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B.	
27.	3. Cambio en el servicio que manejan las bombas (gas de alta o gas de baja presión).	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B. 2. Independizar el circuito de bombeo de LPG del de isobutano. 3. Adquirir equipo de bombeo exclusivo para LPG o isobutano. 4. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 5. Instalar línea igualadora de presión. 6. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio.	A

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000								
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima										
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010			Producto: Gas LP							
Desviación: Mas Presión											
LOI:		LOS:			LSI:			LSS:			
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
28.	1. Que no este alineado el circuito de gas LP en terminal de gas, descarga bloqueada.	1. Fuga por sellos de la bomba. 2. Fuga por accesorios y puntos débiles en la línea. 3. Fuego y explosión.	4	4	9	1. PSV 232 instalada en línea que va a terminal de gas. 2. Disparo por alta presión en las bombas MJA-P-200 A/B.	3	3	7	1. Instalar una PSV en la descarga de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Dar seguimiento al procedimiento de descarga del tanque esférico MJA -T-233. 3. Montar alarmas por alta y baja presión en la descarga de las bombas MJA-P-200 A/B.	B
29.	2. Aumento de la temperatura.	1. Fuga por sellos de la bomba. 2. Relevo de PSV. 3. Fuga por accesorios y puntos débiles en la línea. 4. Fuego y explosión.	5	4	10	1. PSV 232 instalada en línea que va a terminal de gas. 2. Disparo por alta presión en las bombas MJA-P-200 A/B.	3	4	8	1. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de depresionamiento de la línea al término de la operación de la misma. 2. Instalar una PSV en la descarga de las bombas MJA-P-200 A/B.	A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima		
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010	Producto: Gas LP	

Desviación: Mas Presión

LOI:		LOS:				LSI:				LSS:	
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
30.	3. Al final del trasiego de isobutano se quede presionada la línea.	1. Fuga por sellos de la bomba. 2. Fuga por accesorios y puntos débiles en la línea. 3. Fuego y explosión.	4	4	9	1. Programa de calibración de espesores de líneas. 2. PSV 232 instalada en línea que va a terminal de gas.	3	4	8	1. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de depresionamiento de la línea al término de la operación de la misma. 2. Continuar con el mantenimiento preventivo a las PSVs. 3. Continuar con el programa de calibración de espesores de líneas. 4. Reforzar con medias cañas los puntos de apoyo (en mochetas) de la línea. 5. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de mantenimiento preventivo que incluya sandblasteo, pintado, etc. de líneas. 6. Cumplir en las fechas establecidas para los emplazamientos de mantenimiento de líneas.	A

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Areal/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000					
	Nodo 3:	Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima									
	Diagramas:	336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010				Producto: Gas LP					
Desviación: Mas Presión											
LOI:			LOS:			LSI:			LSS:		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
										7. Eliminar purgas y venteos innecesarios. 8. Instalar una PSV adicional a la PSV 232.	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.		Area/proceso: Sector 6; patio Oriente				Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000				
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima										
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010						Producto: Gas LP				
Desviación: Mas Temperatura											
LOI:			LOS:			LSI:			LSS:		
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
31.	1. Incremento de temperatura ambiente.	1. Cavitación de las bombas MJA-P-200 A/B. 2. Daños a la bomba por falta de lubricación. 3. Incendio y explosión.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B. 2. Instalar línea igualadora de presión. 3. Instalar detectores de flama para automatizar el sistema contra incendio. 4. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de operación de la bomba MJA-P-200 A/B.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

	Compañía: Refinería Francisco I. Madero.	Area/proceso: Sector 6; patio Oriente	Fecha: 16 y 30 de Noviembre de 2000
	Nodo 3: Descarga del tanque esférico de almacenamiento MJA-T-233 a bombas 200 A/B de Gas LP a terminal marítima		
	Diagramas: 336-D-006, 336-C-008 y 336-C-010	Producto: Gas LP	

Desviación: Menos Soporte Administrativo

LOI:		LOS:			LSI:			LSS:			
E	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	FP	GP	RP	Recomendación	Clase
32	1. No se usan los canales administrativos adecuados de comunicación entre personal sindicalizado y de confianza.	1. No se detectan posibles riesgos potenciales.	5	4	10	1. Ninguna.	5	4	10	1. Elaborar, aplicar y difundir entre el personal sindicalizado y de confianza procedimientos para: <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Fugas de hidrocarburos.</li> <li>b) Fallas en sistemas de medición.</li> <li>c) Fallas en equipo de bombeo y recipientes de almacenamiento atmosféricos, de baja presión y de alta presión, etc.</li> </ul> Elaborando un documento donde se especifiquen en forma clara y precisa los responsables de cada evento, generándose una orden o permiso de trabajo así como la supervisión de que se lleven acabo las reparaciones pertinentes.	A

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



### 3.6 Análisis de consecuencias utilizando el programa PHAST

Actualmente existen muchos modelos utilizados para el análisis de consecuencias. Especialmente son de gran utilidad aquellos programas que proporcionan en forma conjunta los modelos del análisis de consecuencias, las propiedades físico-químicas y la información de toxicidad necesaria para tales evaluaciones.

Ejemplo de estos últimos son el PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools) elaborado por DNV Technica y SuperChems de Arthur D. Little Inc. compañía consultora especializada en aspectos de seguridad. Estas herramientas son las más comúnmente utilizadas tanto por agencias gubernamentales como por las compañías petroleras y químicas más grandes en su ramo.

PHAST se deriva a partir del programa de análisis de riesgos SAFETI (Software for the Assessment of Flammable, Explosive and Toxic Impacts). Este programa evalúa las consecuencias de fugas, elaborado por DNV Technica con el apoyo del gobierno holandés a través del Ministerio de Vivienda Desarrollo Urbano y Medio Ambiente (VROM) y posteriormente en conjunción con los usuarios del programa.

PHAST consta de los modelos de consecuencias y la información de las sustancias peligrosas. Sus principales características son:

- Integración de modelos de descarga y dispersión
- Modelos de evaporación y formación de aerosoles
- Modelos detallados de consecuencias en módulos independientes
- La capacidad de manejar mezclas y cálculos rigurosos de mezclas en equilibrio líquido-vapor
- Diversas medidas de toxicidad
- La posibilidad de emplear alrededor de 1500 sustancias a partir de la base de datos DIPPR (Design Institute for Physical Properties Research)

#### 3.6.1 Principales modelos utilizados por PHAST

##### 3.6.1.1 Fuente de emisión a partir de un recipiente o tubería (vessel/pipe source)



Modela la fuga de material a partir de un recipiente o tubería, considera las condiciones de proceso o almacenamiento. Este modelo incluye los cálculos para obtener el flujo másico y estado del material así como determinar las áreas de afectación para la nube tóxica y/o inflamable.

Los cálculos pueden dividirse en cuatro etapas

##### a) Descarga

En esta etapa se definen las condiciones de almacenamiento.



**b) Fuego o explosión inmediata**

Si el material es inflamable; el programa calcula el tamaño e intensidad de los efectos

**c) Dispersión de la nube**

A continuación se modela el escenario en el cual la fuga no se enciende inmediatamente, formándose una nube que se forma en el punto de emisión, mezclándose con el aire hasta su completa dilución.

El peligro causado por la nube depende de su tamaño, localización y perfil de concentraciones. Estas características cambian con el tiempo. Los cálculos se llevan a cabo empleando el modelo de dispersión unificado (UDM Unified Dispersion Model), se obtiene una tabla con los datos relevantes de la nube en diversos intervalos de tiempo posteriores a la fuga.

**d) Fuego, explosión y efectos tóxicos tras un lapso de tiempo transcurrido**

Una vez que la nube se ha desarrollado pueden ocurrir diversos efectos, estos pueden ser: fuego en charco, explosiones, efectos tóxicos o fuego flash (es un fuego de baja intensidad cuya zona de afectación esta dada por la región inflamable de la nube)

**3.6.1.2 Fuente de emisión definida por el usuario (User-Defined Source Model)**



Modela la fuga de material considerando las etapas desde la emisión hasta la dispersión de material a concentraciones no dañinas, este modelo realiza cálculos para fuego, explosión y efectos tóxicos para obtener zonas de afectación dadas por valores establecidos para la nube en dispersión.

A diferencia del modelo de fuente de emisión a partir de un recipiente o tubería, este modelo no efectúa los cálculos para la descarga, se debe por consiguiente ingresar el estado del material posterior a la fuga a la presión atmosférica. Para efectuar los cálculos de la descarga se pueden emplear un programa externo como ALOHA (Aerial Locations of Hazardous Atmospheres) o bien, se pueden utilizar los resultados obtenidos del modelo fuente en recipiente o tuberías, modificando los parámetros necesarios para las condiciones particulares. Empleando este procedimiento se pueden simular los efectos de condiciones de descarga como la fuga por sellos en una bomba o la caída de presión en una tubería con fuga conforme transcurre el tiempo.

**3.6.1.3 Modelo de dispersión unificado (UDM)**

Relaciona los diferentes factores que ocurren durante la dispersión de los diversos materiales, se emplean las siguientes suposiciones:



- a) Las propiedades al inicio son uniformes
- b) Si el material se encontraba presurizado este tendrá momentum, el cual producirá un movimiento en la nube en esa dirección.
- c) Por otro lado, si la fuga es instantánea el momentum se distribuirá alrededor del centro de la nube. El momentum irá disminuyendo conforme la nube se mezcla con el aire.
- d) Conforme la nube se mezcla con el aire circundante intervienen varios factores que inducen turbulencia en la mezcla, la densidad relativa, las corrientes oblicuas a la nube, turbulencia del aire debido a las condiciones atmosféricas, la presencia de obstáculos en el trayecto de la nube, etc.

Por lo anterior las condiciones cambian produciendo que las propiedades varíen de acuerdo a la posición dentro de la nube, como son los perfiles de concentración variable

### 3.6.2 Parámetros

Son valores asociados a las variables usadas en los cálculos, no son parte de la definición de los modelos. Todos los modelos en un análisis usaran habitualmente los mismos parámetros, aunque se pueden variar el valor de éstos para un modelo en particular o si se desea investigar la sensibilidad de los resultados a un parámetro dado.

Para algunos tipos de fugas, más de un efecto será modelado. Por ejemplo para una fuga instantánea bifásica puede producirse un fuego en charco, una ráfaga de fuego o una explosión; el programa realizara los cálculos para los tres efectos.

<b>Tipo de fuga</b>	<b>Estado posterior a la descarga</b>	<b>Efecto modelado</b>
Instantánea	Todos	BLEVE, bola de fuego
Instantánea	Con vapor	Explosión
Continua	Con vapor y momentum	Dardo de fuego (Jet fire)
Ambos	Con líquido	Fuego en charco

Tabla 3.8 Relación entre el tipo de fuga y modelos de consecuencias empleados

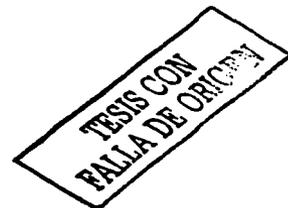
Existen dos principales tipos de cálculo para una descarga

- a) Fugas instantáneas
- b) Fugas continuas

Para ambos casos el procedimiento de cálculo es el siguiente:

- Fuga instantánea

Se utiliza este modelo para rupturas súbitas





Las etapas de cálculo se muestran en el siguiente diagrama

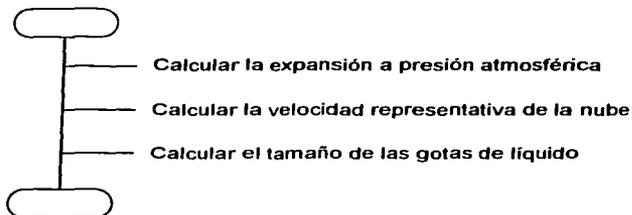
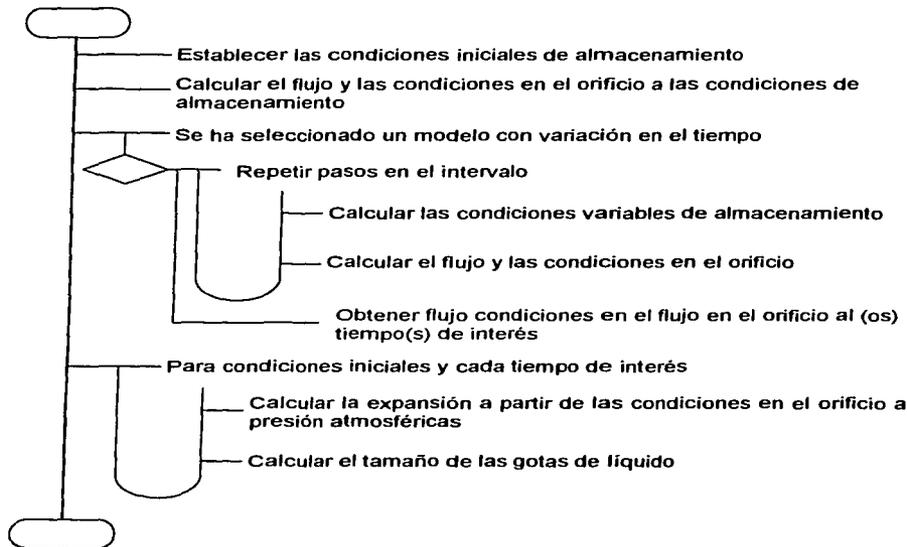


Fig. 3.7 Procedimiento de cálculo para una fuga instantánea

- Fuga continua

Las etapas seguidas son mostradas en el siguiente diagrama



TESIS CON  
FALLA DE COPYRIGHT

Fig. 3.8 Procedimiento de cálculo para una fuga continua



#### 4.1 Recomendaciones a partir del análisis HazOp

Para el área de almacenamiento de gas LP se obtuvieron las siguientes recomendaciones, las cuales se presentan ordenadas de acuerdo a la clase de riesgo relacionado, se agrega el número de escenario del cual se obtuvieron para facilitar la búsqueda de información.

Clase	Actividad	Escenario
A	1. Realizar un estudio para determinar el tipo y cantidad de detectores y alarmas luminosas y sonoras por alta presión en MJA casa de bombas 1 y 2. Posteriormente llevar a cabo las acciones pertinentes que resulten del estudio.	7 (Pág. 74) 9 (Pág. 75)
A	2. Realizar el estudio pertinente para la instalación de PSV's en la línea de succión de las bombas MJA-P-201 A/B y en la descarga de las bombas MJA-T-200 A/B. Posteriormente llevar a cabo las acciones pertinentes que resulten del estudio.	8 (Pág. 74) 10 (Pág. 76) 28 (Pág. 90) 29 (Pág. 90)
A	3. Que la unidad de Recursos Humanos proporcione suficiente personal capacitado para que las guardias estén completas, evitando que el personal doble turno con guardias en exceso.	2 (Pág. 71) 5 (Pág. 73) 9 (Pág. 75) 11 (Pág. 76) 18 (Pág. 83) 20(Pág. 83)
A	4. Instalar bardas y casetas de vigilancia donde se controle el acceso al área de bloques de los ductos de propano y propano-propileno en las partes intermedias del trayecto Indelpro-Refinería.	14 (Pág. 78)
A	5. Relocalizar la válvula PSV 3000 localizada después e instalarla antes del primer bloqueo del propileno ducto Refinería-Indelpro.	13 (Pág. 77)
A	6. Verificar que la compañía Indelpro tenga instalada una válvula de seguridad en la línea de descarga de propano al propano ducto, Indelpro-Refinería.	13 (Pág. 77)
A	7. Realizar un análisis de riesgos, conjuntamente compañía Indelpro-Refinería Madero, al propano ducto y al propileno ducto.	13 (Pág. 77)

TESIS CON  
PALLA DE ORIGEN



#### 4.- Resultados y conclusiones.

<b>A</b>	8. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos para cuando se tenga mas presión en la línea de succión de la bomba MJA-T- 201 A/B.	8 (Pág. 74)
<b>A</b>	9. Dar cumplimiento en la recepción y mantenimiento de las líneas de succión de propano y de propano-propileno.	8 (Pág. 74)
<b>A</b>	10. Elaborar e implementar un procedimiento de mantenimiento para válvulas macho.	3 (Pág. 72)
<b>A</b>	11. Elaborar un estudio para sustituir las válvulas macho actuales por otras que mejoren la operación en el terreno de la seguridad. Válvulas motorizadas con doble sello o válvulas con internos de teflón.	3 (Pág. 72) 9 (Pág. 75)
<b>A</b>	12. Actualización del programa de capacitación y adiestramiento para el personal de nuevo ingreso.	2 (Pág. 71) 5 (Pág. 73) 11 (Pág. 76)
<b>A</b>	13. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de descarga de barcos de isobutano, butanos, LPG y propano-propileno entre capitania de puerto y refinería.	19 (Pág. 83)
<b>A</b>	14. Difundir, aplicar estrictamente y dar seguimiento al procedimiento para la administración del cambio por parte de todas las áreas involucradas (mantenimiento, operación, seguridad, planeación, recursos humanos y gerencia). Formar equipos de soporte técnico para dicha administración.	17 (Pág. 82)
<b>A</b>	15. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento a los procedimientos de: a) Descarga de tanque esférico MJA –TE-234 b) Operación de la bomba MJA-P-200 A/B. c) Entrega de válvulas vickers a mantenimiento. d) Recibo de buque tanques a las esferas MJA-T-233. Dicho procedimiento debe incluir despresurizar la línea de butano de 8" al finalizar cada descarga de barco.	15 (Pág. 80) 16 (Pág. 81) 21 (Pág. 85) 22 (Pág. 85) 23 (Pág. 86) 24 (Pág. 87) 25 (Pág. 88) 26 (Pág. 88) 27 (Pág. 89)

TESIS CON  
PÁGINA DE CAPTURA



#### 4.- Resultados y conclusiones.

	<p>e) Cumplimiento de los fondajes preestablecidos de los tanques de almacenamiento.</p> <p>f) Operación para alinear la esfera MJA-T-233 y dar bombeo a terminal de gas con isobutano. Colocando en campo una secuencia de los pasos a seguir durante el alineamiento de la esfera MJA-T- 233.</p> <p>g) Depresionamiento de la línea al finalizar la operación de trasiego de isobutano.</p>	29 (Pág. 90) 30 (Pág. 91) 31 (Pág. 93)
<b>A</b>	16. Asignar personal capacitado de SITSI para el área de almacenamiento de LPG.	19 (Pág. 83) 20 (Pág. 83)
<b>A</b>	17. Realizar el estudio pertinente para instalar válvulas PSV en la línea de 8" P-3055-TIC y llevar a cabo las acciones que del estudio se deriven.	15 (Pág. 80) 16 (Pág. 81)
<b>A</b>	18. Elaborar, aplicar y difundir entre el personal sindicalizado y de confianza procedimientos que especifiquen en forma clara y precisa los responsables de cada evento para: a) Fugas de hidrocarburos. b) Fallas en sistemas de medición. c) Fallas en equipo de bombeo y recipientes de almacenamiento atmosféricos, de baja presión y de alta presión, etc.	32 (Pág. 94)
<b>A</b>	19. Instalar disparo por baja presión en la bomba MJA-P-200 A/B, así como alarmas por alta y baja presión en la descarga de dicha bomba.	21 (Pág. 85), 23 (Pág. 86), 24 (Pág. 87), 25 (Pág. 88), 26 (Pág. 88), 27 (Pág. 89), 28 (Pág. 90), 31 (Pág. 93)

TESIS CON  
FALLA DE COPIA



#### 4.- Resultados y conclusiones.

<b>A</b>	20. Instalar detectores de mezclas explosivas en las bombas MJA-P-200 A/B con alarma sonora y visual en el departamento de contra incendio y en casa de bombas 3.	21 (Pág. 85), 23 (Pág. 86), 24 (Pág. 87), 25 (Pág. 88), 26 (Pág. 88), 27 (Pág. 89), 31 (Pág. 93)
<b>A</b>	21. Elaborar y dar cumplimiento al programa de mantenimiento preventivo a las válvulas vickers de entrada y de salida de las esferas.	23 (Pág. 86)
<b>A</b>	22. Instalar línea igualadora de presión en la esfera MJA-T-233.	24 (Pág. 87), 25 (Pág. 88), 26 (Pág. 88), 27 (Pág. 89), 31 (Pág. 93)
<b>A</b>	23. Elaborar un procedimiento de condiciones no rutinarias que explique como operar las bombas MJA-P-200 A/B cuando el tanque este por debajo de su límite inferior de operación (fondaje).	22 (Pág. 85)
<b>A</b>	24. Elaborar el programa para reforzar y soldar medias cañas en los puntos de apoyo (en mochetas) de las líneas de butano-butileno de terminal de gas y de la línea de isobutano de la esfera MJA-T-233 a bombas 200 A/B.	30 (Pág. 91)
<b>A</b>	25. Adquirir el equipo de bombeo exclusivo de isobutano para independizarlo del circuito de bombeo de LPG.	27 (Pág. 89)
<b>A</b>	26. Institucionalizar la lista de verificación semanal de niveles de los tanques de almacenamiento.	21 (Pág. 85)
<b>A</b>	27. Elaborar, difundir, implantar, adecuar y dar seguimiento al procedimiento de mantenimiento preventivo que incluya sandblasteo, pintado, etc. de líneas.	30 (Pág. 91)
<b>A</b>	28. Cumplir en las fechas establecidas con los emplazamientos de mantenimiento de líneas.	30 (Pág. 91)

TESIS CON  
PATA DE ORIGEN



#### 4.- Resultados y conclusiones.

<b>A</b>	29. Realizar un estudio y llevar a cabo las acciones que se deriven para eliminar purgas y venteos innecesarios en las líneas.	30 (Pág. 92)
<b>A</b>	30. Realizar el estudio pertinente para determinar si la PSV 232 ubicada en la línea de descarga de las bombas MJA-P-200 A/B a terminal marítima, tiene la capacidad necesaria de relevo; si no la tuviera, instalar una PSV con la capacidad de relevo adecuada o una segunda PSV.	30 (Pág. 92)
<b>B</b>	31. Dar seguimiento al procedimiento de descarga del tanque esférico MJA -T-233.	28 (Pág. 90)
<b>B</b>	32. Instalar señalización con alarma sonora y luminosa por bajo nivel en el tanque horizontal MJ-T-36, al cuarto de control MJA-casa de bombas 1.	4 (Pág. 73)
<b>B</b>	33. Efectuar un estudio que determine la frecuencia de mantenimiento preventivo a las botoneras de la estación de botones de paro de bombas.	6 (Pág. 73)
<b>B</b>	34. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos aplicables para el caso en que las válvulas de 6" antes o después del patín de medición del propano producto Indelpro-Refinería estén cerradas.	12 (Pág. 77)
<b>B</b>	35. En cada paro institucional de la planta FCC (cada dos años), dar mantenimiento al rotogage.	1 (Pág. 70) 7 (Pág. 74)
<b>B</b>	36. Instalar señalización con alarma sonora y luminosa de alto nivel al cuarto de control MJA casa de bombas 1.	1 (Pág. 70)
<b>B</b>	37. En el momento en el que laboratorio detecte la presencia de etanos en la corriente de propano-propileno, avisar a FCC para que se ejecute procedimiento operacional respectivo.	7 (Pág. 74)
<b>B</b>	38. Elaborar, difundir y aplicar procedimientos operativos para cuando aumenta la cantidad de etanos en la corriente que llega de la planta FCC al MJA-T-36.	7 (Pág. 74)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



4.2 Acciones consideradas como buenas prácticas de mantenimiento y operación.

Clase	Actividad	Escenario
<b>A</b>	1. Continuar dando el mantenimiento preventivo a las PSV's.	30 (Pág. 91)
<b>A</b>	2. Continuar con el programa de calibración de espesores de líneas.	30 (Pág. 91)
<b>A</b>	3. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a las botoneras de la estación de botones de paro de bombas.	6 (Pág. 73)
<b>B</b>	4. Seguir cumpliendo con el patrullaje operacional.	1 (Pág. 70) 7 (Pág. 74) 9 (Pág. 75)
<b>B</b>	5. Continuar con la comunicación de aviso de alta presión en la torre 7 de FCC al cuarto de control MJA casa de bombas 1.	1 (Pág. 57)

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

4.3 Análisis de resultados

Las recomendaciones a implementar para mejorar la seguridad del área de almacenamiento de gas LP, son 30 recomendaciones clase A y 8 recomendaciones clase B, también se encontraron prácticas actuales que deben continuar implementándose en el área, 3 de ellas son clase A y 2 de clase B.

Es necesario hacer notar que las instalaciones del área de almacenamiento cuentan con el equipo necesario para evitar un accidente mayor como son los detectores de mezclas explosivas, válvulas de bloqueo rápido y sistemas contra incendio; como medidas administrativas se cuenta con procedimientos como permisos de trabajo y orden de trabajo, dichas herramientas aseguran la supervisión por parte de los ingenieros de la SITSI (Super Intendencia de Inspección Técnica y Seguridad Industrial) sobre aquellos trabajos que representen riesgos para las personas e instalaciones.

Al elaborar el árbol de fallas, no se pretendió determinar frecuencias cuantitativas, pues las cifras dadas en referencias pueden variar de acuerdo al tipo de servicio y programas de mantenimiento. La intención fue ilustrar las causas que pueden dar lugar a un evento, como la fuga de material inflamable. El árbol de eventos se desarrolló con la finalidad de mostrar la secuencia de sucesos que deben ocurrir para alcanzar un

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

**FUGA DE BUTANO EN LINEA DE 6"  
DE RECIBO DE BUTANO/BUTILENO DE 'ME'**

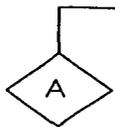
1.77 E-8

**RUPTURA DE LINEA**  
8.1 E-7

**FUGA POR BRIDA**  
5.9 E-7

**VÁLVULA EN MAL ESTADO O FUERA DE ESPECIFICACIÓN**  
3.7 E-7

**DEFECTOS EN SOLDADURA**  
3.1 E-9



7.92 E-7

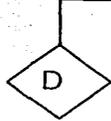


1.4 E-8



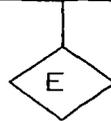
1.2 E-9

- A= Corrosión o erosión (falla del programa de calibración de espesores)
- B= Soporte deficiente
- C= Fuego directo debido a incendio previo



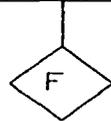
4.22 E-7

D= Sobrepresión en la línea



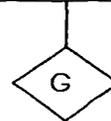
3.13 E-8

E= Excesiva tensión sobre los espargos



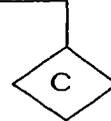
1.4 E-8

F= Posterior a una reparación, los espargos no son correctamente apretados



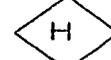
1.2 E-7

D= Empaques en mal estado debido a corrosión o envejecimiento



1.2 E-9

C= Deterioro de empaques debido a fuego externo



1.3 E-7

H= Error en la selección de la válvula



2.4 E-7

I = Fuga a través del asiento

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	
	Arbol de Fallos Fuga en una línea de 6" que contiene butano	

fuga de material inflamable (butano/butileno)

A

Detectores de mezclas explosivas

B

Punto de ignición

C

Corte del flujo en la línea

D

El fuego alcanza a recipientes

E

Equipo contra incendios

F

Punto de ignición 10 min. posteriores a la fuga

G

Planes de emergencia

Resultados

Secuencia de eventos

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

Incendio extendido a otras áreas de proceso

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

Incendio extendido a otras áreas de proceso

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

BLEVE (Exposición por la vaporización de un líquido en ebullición) y UVCE

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

Incendio extendido a otras áreas de proceso

BCD

Bola de fuego posibles lesiones al personal

BCDG

UVCE (Exposición de nube de vapor no confinado)

BCDG

Dispersión de la nube

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

Incendio extendido a otras áreas de proceso

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

Incendio extendido a otras áreas de proceso

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

BLEVE (Exposición por la vaporización de un líquido en ebullición) y UVCE

BCDEF

Incendio controlado en el área de almacenamiento

BCDEF

Incendio extendido a otras áreas de proceso

BCG

UVCE (Exposición de nube de vapor no confinado)

BCG

Dispersión de la nube

UNAM F.O.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA



Arbol de Eventos Fuga de material inflamable de la línea de recibo de tanque

Diagrama 3.7



resultado particular, también se remarca la importancia de contar con sistemas de protección como válvulas de seguridad, sistemas contra incendio, etc., y cuáles podrían ser las consecuencias de la falla de alguno de estos equipos. Los planes de emergencia son muy importantes y de su correcto funcionamiento dependerá si las consecuencias de un incendio se limitan al equipo afectado o se propaga a otro(s) equipo(s) u otra(s) área(s) de proceso, así como el número de personas lesionadas. En el diagrama 3.7 se hace mención de los planes de emergencia, sin embargo como estos pueden arrojar varias alternativas en el resultado final y con la intención de simplificar el diagrama sólo se dibujo una línea punteada indicando que los resultados pueden ser desde la pérdida de material, daños menores a equipo, lesiones menores al personal hasta propagación del fuego a otras áreas de proceso y/o pérdidas humanas.

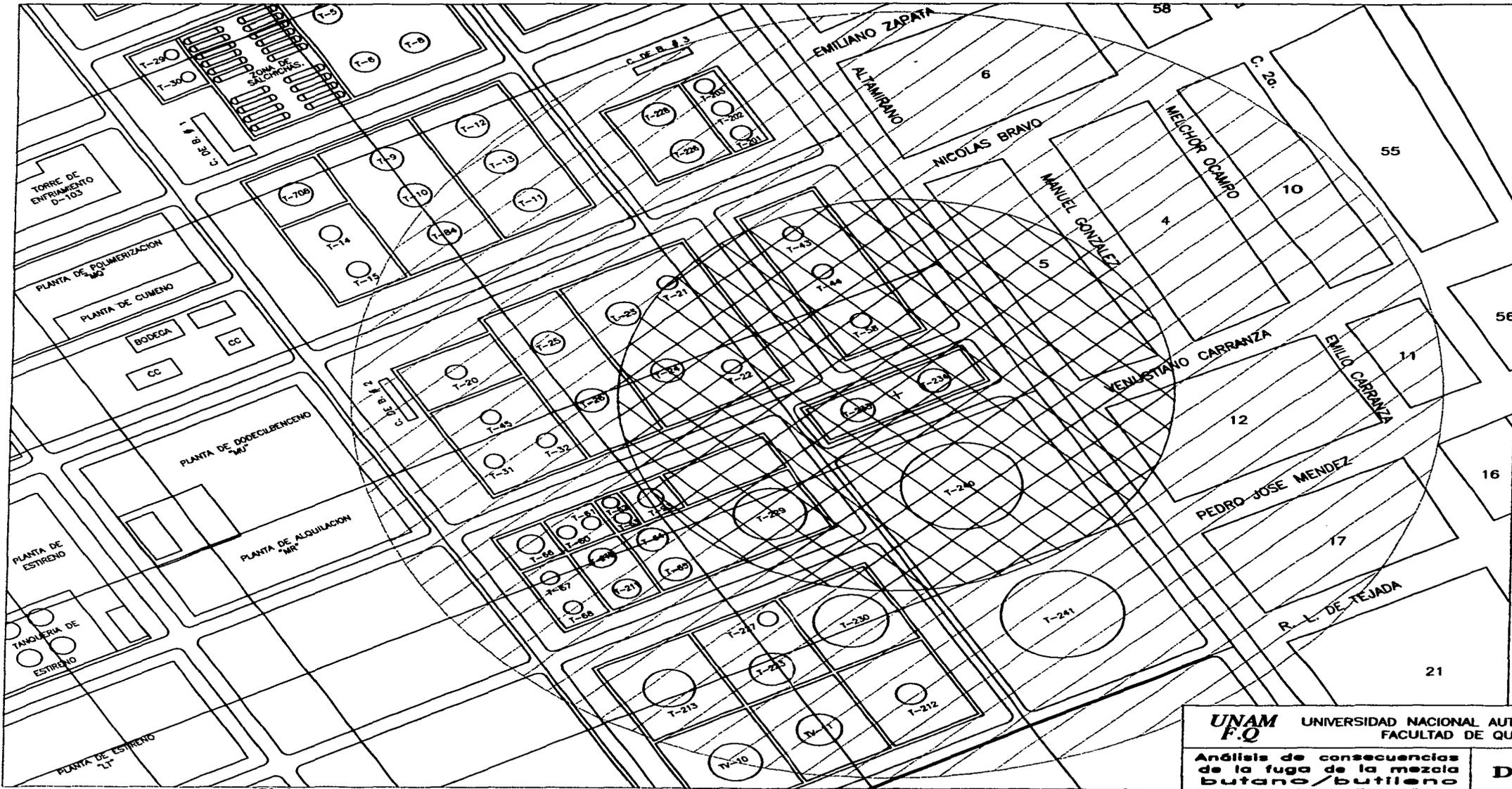
En el diagrama 3.8 se muestran los efectos de una explosión de una nube de vapor (UVCE por sus siglas en ingles) si bien este caso es poco probable, sus consecuencias pueden ser muy graves por las ondas de sobrepresión generadas.

Por último en el apéndice A se muestra una hoja de datos de seguridad para el gas LP obtenida de la página electrónica de PEMEX Gas y Petroquímica (PGP). En el apéndice B se muestra una tabla que relaciona los efectos de una explosión con la magnitud de la sobrepresión generada.

#### 4.4 Conclusiones

Al revisar la lista de recomendaciones, se observa que diez de ellas están relacionadas con la elaboración de procedimientos de operación; cuatro de ellas están relacionadas con la falta de capacitación al personal de nuevo ingreso. Por otra parte, durante el periodo de actualización de diagramas se pudo observar que en algunos casos los operadores no cuentan con diagramas, si bien estas deficiencias se suplen con el conocimiento logrado a través de la experiencia; es necesario poner mayor atención a uno de los elementos del SIASPA como es el manejo y actualización de la información; también se recomienda la revisión de los procedimientos de operación existentes y elaborar aquellos procedimientos necesarios para lograr una operación más segura.

A partir del análisis anterior podemos observar que tanto la parte administrativa como la parte técnica son ambas muy importantes para la seguridad de una instalación industrial donde se almacenan materiales peligrosos. En algunas ocasiones las interrelaciones entre distintos departamentos puede causar fricciones, el reto es alcanzar los objetivos de la empresa, eliminando las distintas barreras entre diferentes



**NOTAS:**  
 Presiones entre 10 y 3 psig (radio 120 m)  
 Presiones entre 3 y 0.3 psig (radio 245 m)

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

**UNAM F.Q.** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA 

Análisis de consecuencias de la fuga de la mezcla butano/butieno

**DIAGRAMA 3.8**



departamentos; en cuanto a la seguridad es necesario que la prevención alcance todos los niveles de personal y se integre como elemento clave en la cultura laboral de la empresa.

El SIASPA cuenta con los elementos necesarios para convertirse en un valioso recurso para PEMEX en el incremento de la seguridad y la protección al ambiente, para alcanzar plenamente sus objetivos debe ser continuamente revisado con el objeto de conocer sus deficiencias y buscar áreas de oportunidad. Es muy importante la participación de la dirección, en la implementación de los proyectos, atendiendo los resultados de las auditorías y el desarrollo de nuevos programas atendiendo a las experiencias y resultados alcanzados. Una de las características de un programa de administración de la seguridad como de un programa de calidad es que nunca estará totalmente desarrollado, por lo cual es necesario una continua innovación para la obtención de mejores resultados.

**Efectos de la sobrepresión**

<b>Sobrepresión (psig.)</b>	<b>Daño producido</b>
0.03	Ruptura ocasional de vidrios grandes sujetos a esfuerzo
0.15	Presión típica para ruptura de vidrios
0.40	Daño mínimo a muros y bardas
0.70	Daños menores a la estructura de las casas
1 a 2	Asbestos corrugados sacudidos. Marcos de aluminio y acero removidos de su lugar
1.30	Vigas y columnas de estructuras ligeramente afectados
2 a 3	Bardas de concreto y bloques no reforzados sacudidos
2.5	Destrucción de 50% de las paredes de tabique
3-4	Edificios con estructuras ligeras demolidos.
5-7	Destrucción casi completa de casas
7-8	Bardas de ladrillo de 8" a 12" de espesor no reforzadas, caen por esfuerzo o flexión
10.0	Probable destrucción total de edificios. Máquinas o equipo de 3.5 Ton removidos de su lugar con severos daños.
15.5-29	Fatalidad de la población cercana en un 90%

**HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD DE GAS LP****1. IDENTIFICACION DEL PRODUCTO**

Hoja de Datos de Seguridad para Sustancias  
Nombre del Producto  
Nombre Químico  
Familia Química  
Fórmula  
Sinónimos

Químicas No HDSSQ-LPG  
Gas licuado comercial  
Mezcla Propano-Butano  
Hidrocarburos del Petróleo  
 $C_3H_8 + C_4H_{10}$   
Gas LP, LPG (Liquefied Petroleum Gas),  
gas licuado del petróleo

**2. COMPOSICION / INFORMACION DE LOS INGREDIENTES**

MATERIAL	%
Propano	60.0
n-Butano	40.0
Etil Mercaptano (odorizante)	0.0017 - 0.0028

**3. PROPIEDADES FISICAS / QUIMICAS**

Peso Molecular  
Temperatura de Ebullición @ 1 atmósfera  
Temperatura de Fusión  
Densidad de los Vapores (Aire =1) @ 15.5 °C  
Densidad del Líquido (Agua =1) @ 15.5 °C  
Presión Vapor @ 21.1 °C  
Relación de Expansión (Líquido a Gas @ 1 atmósfera)

49.7  
32.5 °C  
167.9 °C  
2.01 (Dos veces más pesado que el aire)  
0.540  
4500 mm Hg

Solubilidad en Agua @ 20 °C  
Apariencia y Color

1 a 242 (Un litro de gas líquido, se convierte en 242 litros de gas fase vapor, formando con el aire una mezcla explosiva de 11,000 litros aproximadamente).  
0.0079 % en peso (Insignificante; menos del 0.1%).  
Gas incoloro e insípido a temperatura y presión ambiente. Tiene un odorífero que produce un olor característico, fuerte y desagradable para detectar las fugas.

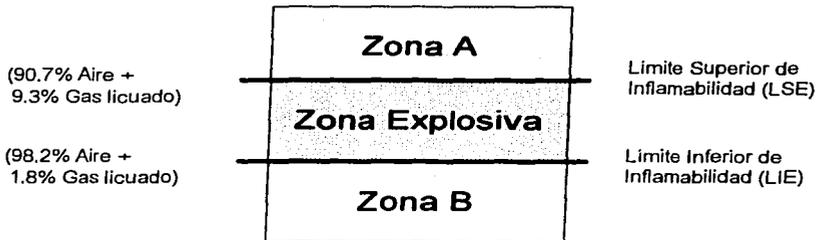
TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



#### 4. PELIGROS DE EXPLOSION E INCENDIO

Punto de flash	-98.0 °C
Temperatura de Ebullición	-32.5 °C
Temperatura de Auto ignición	435.0 °C
Límites de Explosividad:	<i>Inferior</i> 1.8 %
	<i>Superior</i> 9.3 %

El punto de flash del LPG (-98 °C) lo hace un compuesto sumamente peligroso.



**Zonas A y B.**- En condiciones ideales de homogeneidad, las mezclas de aire con menos de 1.8% y más de 9.3% de gas licuado no explotarán, aún en presencia de una fuente de ignición, sin embargo, en condiciones prácticas, deberá desconfiarse de las mezclas cuyo contenido se acerque a la zona explosiva. En la Zona Explosiva solo se necesita una fuente de ignición para desencadenar una explosión.

**Nota:** No intente apagar el incendio sin antes bloquear la fuente de fuga, ya que si se apaga y sigue escapando gas, se forma una nube de vapores con gran potencial explosivo. Pero deberá enfriar con agua rociada los equipos o instalaciones afectadas por el calor del incendio

#### 5. INFORMACION SOBRE SU TRANSPORTACION

Identificación \*  
Clasificación de riesgo \*  
Etiqueta de embarque



DOT UN 1075 (UN: Naciones Unidas)

DOT Clase 2; División 2.1

**GAS INFLAMABLE**

Identificación durante su transporte: Cartel cuadrangular en forma de rombo de 273 mm x 273 mm (10 3/4" x 10 3/4"), con el número de Naciones Unidas en el centro y la Clase de riesgo DOT en la esquina inferior.

UN 1075 = Número asignado por DOT y la Organización de Naciones Unidas al gas licuado del petróleo.

2 = Clasificación de riesgo de DOT

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## Glosario de términos

**Administración de riesgos:** es el proceso de evaluar, y de ser necesario, controlar fuentes de exposición y riesgo.

**Accidente:** evento no deseado, cuyas consecuencias pueden ir desde afectación a las actividades normales del proceso, daños al ambiente hasta lesiones o decesos de personas.

**AIChE (American Institute of Chemical Engineers)** Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos.

**API (American Petroleum Institute):** Instituto Norteamericano del Petróleo.

**BLEVE (Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion):** explosión por la evaporación de un líquido en ebullición.

**Causa:** razón, motivo u origen por el que ocurre un accidente.

**Consecuencia:** daño resultante de un evento inesperado, calculado en base a los efectos potenciales sobre las personas, instalaciones o medio ambiente.

**Desviación:** es la combinación de la palabra guía con el parámetro que indica una alteración cualitativa o cuantitativa de la variable de diseño.

**Deflagración:** explosión en la cual las ondas de presión producidas no superan la velocidad del sonido.

**Detonación:** explosión en la cual las ondas de presión producidas superan la velocidad del sonido.

**DFP:** Diagrama de flujo de proceso.

**DTI:** Diagrama de tubería e instrumentación.

**Escenario:** caso hipotético utilizado para la predicción de consecuencias, una vez que se han establecido las condiciones a las cuales se origina el evento inicial, generalmente una fuga de material inflamable o tóxico.

**Evaluación de riesgos:** es el proceso de estimar la probabilidad de que ocurra un acontecimiento no deseado y la magnitud probable de los efectos adversos.

**Explosión:** expansión violenta de gases producida por reacción química (combustión) o expansión de líquidos con cambio de fase a vapor, dando lugar a fenómenos acústicos, térmicos y mecánicos.

**FCC (Fluid Catalytic Cracking):** planta desintegradora catalítica.

**Frecuencia:** número de fallas o errores presentados por un equipo en un lapso de tiempo o veces en que es requerido.



- Incidente:** evento no deseado, se diferencia de un accidente pues sus consecuencias no son de gravedad.
- Índice de riesgo:** combinación de la frecuencia por la gravedad de las consecuencias de un evento.
- Inflamable:** material combustible cuya temperatura es superior a su punto de ignición, si se encuentra dentro del rango de inflamabilidad, puede propagar la flama.
- Límites de inflamabilidad:** (inferior y superior) por debajo del límite inferior no existe la cantidad suficiente para que se propague la llama; por arriba del límite superior la cantidad de oxígeno disponible no es suficiente para realizar la combustión.
- Nodo:** es una parte del sistema de proceso, que tiene un origen y un destino. Los límites se fijan con la intención de hacer manejable la información requerida para un análisis.
- Parámetro:** es una característica física o química del proceso como lo es el flujo, la temperatura, presión, composición, nivel, etc.
- Palabra guía:** indica la desviación cualitativa o cuantitativa de la intención de diseño de algún parámetro.
- Peligro:** es un agente físico, químico o biológico o una serie de condiciones que tienen el potencial de hacer daño; es una fuente de riesgo, pero no un riesgo es sí mismo.
- Protección:** Es todo aquello con lo que cuenta un sistema para reducir la probabilidad de que ocurra un accidente o para mitigar las consecuencias.
- Recomendaciones:** serie de acciones a implementar con el objetivo de incrementar la seguridad de un área determinada.
- Sistema de Administración:** es un modo de trabajo que asegura de una forma continua y formal el seguimiento de las normas y procedimientos establecidos.
- SMDS (Safety Material Data Sheets):** hoja de datos referentes a la seguridad de un material.
- SHI (Substance Hazard Index):** índice de peligro de una sustancia. Este índice se desarrolló con la finalidad de comparar diferentes materiales empleados en los procesos químicos y está relacionado con la toxicidad y la presión de vapor del material.
- UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion):** explosión de nube de vapor no confinada.

**Bibliografía**

- (1) American Petroleum Institute  
Recommended Practice 750  
*Management of Process Hazards*  
1<sup>st</sup> Ed., Washington D.C. (1990).
- (2) American Institute of Chemical Institute (AIChE)  
Center for Chemical Process Safety  
*Guidelines for the Technical Management of Chemical Process Safety*  
1<sup>st</sup> Ed., New York (1987).
- (3) American Institute of Chemical Institute (AIChE)  
Center for Chemical Process Safety  
*Guidelines for Hazard Evaluation Procedures: with worked examples*  
2<sup>nd</sup> Ed., New York (1989).
- (4) American Institute of Chemical Institute (AIChE)  
Center for Chemical Process Safety  
*Guidelines for the Chemical Process Quantitative Risk Analysis*  
1<sup>st</sup> Ed., New York (1989).
- (5) Casal, Joaquim; et. al.  
*Análisis del Riesgo en Instalaciones Industriales*  
Ed. Alfaomega, Colombia (2001).
- (6) Cleland, David I. & King, William R.  
*Systems Analysis and Project Management*  
3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill, New York (1983).
- (7) Crowl, Daniel A.; Louvar, Joseph F.  
*Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*  
Ed. Prentice Hall, New Jersey (1990).
- (8) García Legorreta, Francisco Javier  
*El SIASPA en PEMEX*  
UNAM, Facultad de Química (1998).
- (9) Greenberg, Harris R. & Crammer, Joseph J. Eds.  
*Risk Assessment and Risk Management for Chemical Process Industries*  
Ed. Van Nostrand-Reinhold (1991).



- (10) Kauf, Erick  
*Gerencia de riesgos*  
Ed. Mapfre, Madrid (1992).
- (11) Kletz, Trevor A.  
*Hazop and Hazan, Identifying and Assessing Industry Hazards*  
3<sup>rd</sup> Ed., The Institution of Chemical Engineers, Rugby (1992).
- (12) Kolluru, Rao V., Bartell, Steven M, et. al.  
*Manual de Evaluación y Administración de Riesgos*  
1<sup>a</sup> Ed., McGraw-Hill Interamericana, México, D.F. (1998).
- (13) Koontz, Harold & Wehrich, Heinz  
*Administración: un Enfoque Global*  
6<sup>a</sup> Ed., McGraw-Hill Interamericana, Mexico, D. F. (1998).
- (14) Santamaría Ramiro, J. M. y Braña Aisa, P.A.  
*Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química*  
Ed. Mapfre, Madrid (1998).
- (15) Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
*Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental y disposiciones complementarias*  
Ed. Porrúa, México, D.F. (1996).
- (16) U.S. Environmental Protection Agency  
Clean Air Act Sec. 112 *National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants*  
(r) (7), (1993).
- (17) U.S. Department of Labor  
Occupational Safety and Health Administration (OSHA)  
29 Code Federal Regulation Parts  
*Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals*. 1910.119  
(1992).