

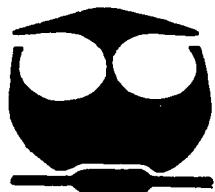


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS DE RIESGOS DE UN CIRCUITOS DE ISOBUTANO  
DEL AREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS LP,  
APLICANDO LA TECNICA HAZOP Y WHAT IF.

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
I N G E N I E R O Q U Í M I C O  
P R E S E N T A :  
CRUZ ANTONIO ARREDONDO GUERRERO





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**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.

**JURADO ASIGNADO**

Presidente: Prof. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ  
Vocal: Prof. MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ  
Secretario: Prof. NÉSTOR NOÉ LÓPEZ CASTILLO  
1er Suplente Prof. BALDOMERO PÉREZ GABRIEL  
2do Suplente Prof. ALFONSO DURÁN MORENO

---

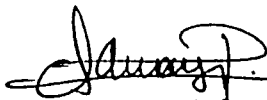
---

Sitio donde se desarrolló el tema:

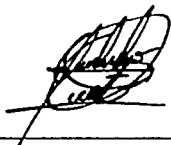
LABORATORIO E-212 EDIFICIO E, FACULTAD DE QUÍMICA, CIUDAD  
UNIVERSITARIA.



DR. MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ  
Asesor del Tema



ING. PAOLA A. QUINTERO REYES  
Supervisor Técnico



CRUZ ANTONIO ARREDONDO GUERRERO  
Sustentante

*A Dios y A Quienes Amo...*

*A mi Madre: "María Elena"*

Por apoyarme, escucharme, amarme y darme  
la oportunidad de disfrutar de este mundo...  
Por darme todo, esperando solo mi felicidad.  
Gracias por ser quien eres para mí.

*A mi Padre: "Pedro"*

La batalla de la vida no siempre la gana el hombre  
más fuerte, o el más ligero, porque tarde o temprano,  
el hombre que gana, es aquel que sabe como poder hacerlo.  
Gracias por se quien eres para mí.

*A mis Hermanos:*

Ángela, Graciela, Ramón, Martín, Juana, Pedro, Ma. Elena  
y J. M.

Porque siempre hemos estado lado a lado, formando un todo.  
La vida nos separo en distancia, pero no en alma y corazón.  
Siempre tengo presente que con ellos soy todo y sin ellos no existo...  
Gracias por ser parte de mí.

*A:*

Ricardo, Abelardo, Julio, Sandra, Cristóbal y Juliana.  
Son el complemento de cada cual de nosotros

*A los Nietos que Amo de la Misma Forma que a sus Padres:*

Flor, Vero, Jessica, Liz, Jonathan, Joel, Emmanuel, Claudia,  
Dantiela, Elaine, Cristóbal, Daniel, Joseline y  
como dijo el tío Pit "Los muchos más que vienen".

*A mi Novia: Ma. de Jesús "Chuy"*

Por su apoyo, cariño, comprensión, amor y sobre todo por ser  
mi complemento. Te quiero cerca de mí por siempre.  
A su familia por la confianza y amistad que han depositado en mí.

*A la U.N.A.M. "Facultad de Química"*

Por darme la oportunidad de pertenecer a esta mi Alma Mater  
pues la quiero, la respeto y jamás olvidare. Gracias.

*A todos los Amigos de la "Facultad de Química"*

Que formaron parte de mi vida y que no mencionare  
nombres pues todos y cada uno de ustedes sabe  
que lugar ocupa en mí...

*A la "Casa Durango"*

Por darme la oportunidad de pertenecer a ella,  
así como darme un hogar aun lejos de mi hogar.

*Por Permitirme Realizar esta Tesis*

Al Dr. M. Javier. Cruz G. y a los Ings. de la refinería  
gral. Lázaro Cárdenas en Minatitlán Ver.

*A los Compañeros del C.E.A.P.P.A y Lab-212*

Porque me enseñaron el cómo ser una mejor persona  
y como no ser en la vida. Doy las gracias a todos en gral.

## INQUIETUD

*Si logras conservar intacta tu firmeza,  
cuando todos vacilan y tachan tu entereza.  
Si a pesar de esas dudas, mantienes tus creencias  
sin que te debiliten extrañas sugerencias.  
Si sueñas, sin por ello rendirte ante el ensueño.  
Si piensas, más de tu pensamiento sigues dueño.  
Si triunfos o desastres no menguan tus ardores  
y por igual tratas como dos impostores.  
Si hasta el pueblo te acercas sin perder tu virtud  
y con reyes alternas sin cambiar tu actitud.  
Si no logran turbarte ni amigos ni enemigos,  
pero en justa medida pueden contar contigo.  
Si entregado a la lucha con nervio y corazón,  
aun desfalleciendo persiste en la acción.  
Si alcanzas a llenar el minuto sereno con  
sesenta segundos de un esfuerzo supremo...  
Lo que existe en el mundo en tus manos tendrás,  
¡y además, amigo mío, un gran hombre serás!*

*Rudyard Kipling*



## ÍNDICE

	Página
Índice de tablas.....	iii
Índice de figuras.....	iv
Índice de diagramas.....	v
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN</b>	
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS.....	2
1.2 OBJETIVOS.....	4
1.3 ETAPAS DEL PROYECTO.....	5
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO</b>	
2.1 ANTECEDENTES.....	9
2.2 MARCO HISTÓRICO	
2.2.1 Historia de Riesgos Industriales.....	12
2.2.2 Descripción de Algunas Refinerías.....	16
2.3 TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RIESGOS	
2.3.1 Análisis General de Riesgos.....	18
2.4 TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA TESIS	
2.4.1 Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp".....	23
2.4.2 Análisis ¿Qué pasa si...? (What if).....	29
2.4.1 Análisis de Consecuencias.....	30



## ÍNDICE

	Página
<b>CAPÍTULO III. TRABAJO DE CAMPO</b>	
3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	38
3.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	44
3.3 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.....	45
3.3.1 Matrices y Datos Utilizados en el Análisis HazOP, WHAT IF y de Consecuencias.....	48
3.3.2 Hojas de Trabajo del Análisis de Riesgos Aplicando la Técnica HAZOP.....	57
3.3.3 Hojas de Trabajo del Análisis de Riesgos Aplicando la Técnica WHAT IF.....	65
3.4 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	78
<b>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS "HAZOP Y WHAT IF".....	86
4.1.1 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis de Riesgos y Operabilidad "HAZOP".....	87
4.1.2 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis de Riesgos "WHAT IF".....	91
4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	98
<b>APÉNDICE</b>	100
<b>GLOSARIO</b>	103
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	106





## ÍNDICE DE TABLAS

	Página
2.1 Componentes y Elementos del SIASPA.....	10
2.2 Accidentes más Catastróficos en el Mundo.....	14
2.3 Principales Métodos Utilizados en la Identificación de Riesgos.....	20
2.4 Significado de las Palabras Guías.....	26
3.1 Manejo de Gas Licuado de Petróleo en la Refinería.....	39
3.2 Nodos Analizados en el Proyecto SIT-006/2001.....	47
3.3 Matriz de Operación Utilizada en la Técnica HazOp.....	49
3.4 Matriz de Medio Ambiente Utilizada en la Técnica HazOp.....	50
3.5 Matriz de Seguridad Utilizada en la Técnica HazOp.....	51
3.6 Matriz de Instalaciones (\$) Utilizada en la Técnica HazOp.....	52
3.7 Matriz de Riesgo Utilizada en la Técnica What If.....	54
3.8 Características del Nodo Analizado Bombas Centrifugas.....	55
3.9 Características del Nodo Analizado Línea de 4" de Diámetro.....	55
3.10 Características del Nodo Analizado Motor Eléctrico.....	55
3.11 Resultados del Estudio de Análisis de Riesgos y Operabilidad HazOp.....	58
3.12 Resultados del Estudio de Análisis de Riesgos What If.....	66
3.13 Resultados Obtenidos por Jet Fire.....	80
3.14 Resultados Obtenidos por Nube Explosiva no Confinada.....	81
3.15 Resultados Obtenidos de Explosión por Sobrepresión.....	83
4.1 Lista Jerárquica de Recomendaciones Aplicando la Técnica de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp".....	87
4.2 Lista Jerárquica de Recomendaciones Aplicando la Técnica de Análisis de Riesgos "What If".....	91
4.3 Relación de Recomendaciones del Análisis de Riesgos.....	97



## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
2.1 Sistemática del Análisis "HazOp".....	27
2.2 Hoja de Registro de Sesiones "HazOp".....	28
3.1 Matriz de Registro Utilizada en la Técnica "What If".....	53
3.2 Representación Gráfica de la Radiación por Jet Fire (Chorro de Fuego).....	80
3.3 Representación Gráfica de la Vista Superior de la Nube Explosiva.....	82
3.4 Representación Gráfica de la Vista Lateral de la Nube Explosiva.....	82
3.5 Representación Gráfica de la Explosión por Sobrepresión.....	84





# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ANÁLISIS.**

Uno de los objetivos de la Universidad es el crear personal administrativo y profesionistas con una actitud positiva hacia el trabajo seguro y de esta forma prevenir y controlar riesgos. Esto es algo que puede lograrse cumpliendo cabalmente con la legislación y mediante enseñanzas en las aulas educativas.

En los últimos años se ha desarrollado muy rápidamente la industria, debido al gran crecimiento tecnológico, esto nos ha llevado a que las zonas industriales y las zonas habitacionales estén cada día aun más cerca una de otra. Por este motivo los gobiernos y organizaciones internacionales regulan con mayor énfasis los aspectos de seguridad en la industria.

Petróleos Mexicanos ha implementado un sistema denominado SIASPA (Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental).



El SIASPA no busca cambiar la cultura del trabajador petrolero, pero sí enriquecer de tal forma que en su hacer diario queden incorporados en forma prioritaria los aspectos de seguridad y protección ambiental. Con lo anterior, el SIASPA contribuirá a cumplir con el compromiso de Petróleos Mexicanos de convertirse en una empresa nacional sólida, eficiente y comprometida, proyectándola al nivel de las mejores empresas petroleras internacionales en materia de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental.

PEMEX Refinación en un gran esfuerzo por cumplir con los estándares más exigentes, nacionales e internacionales para salvaguardar el medio ambiente, la integridad física y salud de los trabajadores, realiza la implementación del SIASPA, contribuyendo la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química.



## 1.2 OBJETIVOS.

La presente tesis es diferente de las que anteriormente se han presentado. En principio, es el primer análisis de riesgos en el que es complementado un análisis HazOp con un análisis What If; se estudiará un Circuito de Isobutano en el Área de Gas L.P. empleando dos técnicas, por lo cual se realizará un análisis comparativo (siendo esto nuevo, ya que es la primera tesis que se maneja desde este punto de vista).

Realizar un Análisis de Riesgos en un Circuito de Isobutano en el Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo utilizando las técnicas de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp" (Hazard and Operability), Análisis de Riesgos ¿Qué pasa si...? (What If) y complementándolo con un Análisis de Consecuencias (Consequences Analysis, AC) para:

- a) Identificar y evaluar los posibles riesgos en el Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo.
- b) Dependiendo de la gravedad del riesgo, proponer medidas que permitan contribuir con la prevención de incidentes, accidentes y mejorar de esta forma la seguridad.
- c) Realizar una lista jerárquica de riesgos y recomendaciones, la cual se entregará en la Refinería para que ésta les dé seguimiento en base a su plan de trabajo establecido.



- d) Tomando en cuenta la lista jerárquica de cada una de las dos técnicas realizar un análisis comparativo.

### **1.3 ETAPAS DEL PROYECTO.**

El Análisis de Riesgos en el Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo se llevó a cabo durante el periodo de Febrero de 2001 a noviembre de 2001. Durante este proyecto se aplicó el plan de trabajo siguiente:

#### **1.3-1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN.**

Una de las Informaciones más importante fue el levantamiento en campo y la actualización de los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's), Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) y Diagramas de Localización de Equipos. Estos diagramas son indispensables ya que son claves para realizar el Análisis de Riesgos y Operabilidad HazOp.

La actualización de los Diagramas de Flujo de Proceso y los Diagramas de Tubería e Instrumentación, se llevó a cabo de la forma siguiente:



- ✓ Se consultó la información previa en la biblioteca de la refinería, en donde se obtuvieron algunos diagramas elaborados en la década de los 80's.
- ✓ Por la antigüedad de estos diagramas se decidió comenzar con el levantamiento total del área.
- ✓ Los levantamientos se dibujaron en AutoCad 14 y utilizando una simbología que fue elaborada con una supervisión minuciosa.
- ✓ Una vez terminada la actualización de estos diagramas, se entregaron a la Refinería en forma impresa, en un tamaño de 60 cm de ancho con 90 cm de largo, así como un CD en el cual se encontraban digitalizados, siendo un total de 21 diagramas.

De igual forma previo al análisis se recopiló información técnica, la cuál es más específica para el HazOp, como son:

- ✓ Registros de calibración, de pruebas e incidentes.
- ✓ Características de los equipos.
- ✓ Características de los productos almacenados.
- ✓ Descripción del área.

### **1.3-2 REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS "HAZOP" Y "WHAT IF"**

Para esta segunda etapa se utilizó como herramienta de captura de información un software llamado DNV-Pro 5. Se realizó un plan de trabajo el cual quedó de la siguiente manera:





- ✓ Se conformó el equipo de trabajo para la realización de las sesiones de análisis HazOp y What If.
- ✓ Se seleccionaron los circuitos a analizar.
- ✓ Se estimaron los riesgos encontrados.
- ✓ Se emitieron recomendaciones para eliminar o reducir estos riesgos.

### **1.3-3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL "HAZOP" Y "WHAT IF"**

Se realizó el análisis de los resultados de la etapa anterior y de esta forma obtener una lista jerárquica de riesgos con sus respectivas recomendaciones.

### **1.3-4 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**

En esta etapa se realizó un estudio detallado, para determinar sus efectos destructivos tanto dentro como fuera de la Refinería, así como el impacto en su entorno ecológico en caso de ocurrir algún accidente en el escenario seleccionado.





## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES.**

En la actualidad PEMEX mantiene como objetivos estratégicos explorar y explotar mayores y mejores reservas, realizar mejoras operativas y hacer económicamente sustentable el trabajo empresarial. Hoy en día no se puede concebir una empresa líder en el mundo que no le dé una adecuada atención en el corto y largo plazo a la Seguridad, la Salud Ocupacional y la Protección al Medio Ambiente, por lo que es de capital importancia para Petróleos Mexicanos la consolidación e integración de sus Sistemas de Gestión en tales materiales.

Petróleos Mexicanos, preocupado por la integridad física y salud de los trabajadores, nuestro entorno ecológico y sus activos, motiva a implementar programas para lograr una buena administración e integración de prevención y control de riesgos, surgiendo así el SIASPA (Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental).



El SIASPA se encuentra formado por tres componentes, los cuales son: factor humano, instalaciones y método; cada componente se constituye de ciertos elementos, los cuales se dividen como se muestra en la *Tabla 2.1*.

COMPONENTES	ELEMENTOS
FACTOR HUMANO	Política, liderazgo y compromiso Organización Salud ocupacional Análisis y difusión de incidentes y buenas prácticas Control de contratistas Relaciones públicas y con las comunidades
MÉTODOS	Planeación y presupuesto Normatividad Administración de la información tecnológica del proceso <b>Análisis de Riesgos</b> Administración del cambio Indicadores de desempeño Auditorías
INSTALACIONES	Planes y respuestas a emergencias Integridad mecánica Control y restauración

*Tabla 2.1. Componentes y Elementos del SIASPA*

Los manuales de cada uno de los componentes mencionados anteriormente, se encuentran interrelacionados por el Manual SIASPA que es el instrumento central. Siendo de uso exclusivo para los centros de trabajo y se constituye por:

- ✓ La Guía para el uso del Manual
- ✓ Los Manuales del Elemento con sus guías para la auto-evaluación e implementación de acciones de mejoramiento.



Como es normal, el SIASPA se encuentra formado por varios instrumentos para su implementación y operación, los cuales se describen de la manera siguiente:

- Se tienen lineamientos, anexos y documentos de apoyo para cada elemento que pueda servir de base para la preparación de los procedimientos y formatos requeridos en el SIASPA, se le llama Caja de Herramientas.
- Guía para los informes al Comité Corporativo de Seguridad y Protección Ambiental.
- Guía para el plan de implementación, dirigida a los jefes de los centros de trabajo para diseñar los planes de implantación del sistema y las acciones de mejoramiento que llevan al logro de resultados.
- El Curso de Administración del SIASPA, destinado a la instrucción de los funcionarios superiores de Petróleos Mexicanos en su papel dentro del SIASPA.

En resumen, los beneficios que PEMEX espera obtener con la implementación del SIASPA son:

- ✓ Incorporar la seguridad industrial y la protección ambiental a los planes de negocios de Petróleos Mexicanos a largo plazo.
- ✓ Participación activa y visible de la alta dirección.
- ✓ Reducción significativa de incidentes e impactos ambientales, sus consecuencias y costos asociados.



- ✓ Reducción de riesgos a los trabajadores, a la población aledaña a las instalaciones y a las propias instalaciones.
- ✓ Desarrollo del sentido de propiedad en todos los trabajadores petroleros que impulse y consolide una cultura en seguridad y protección ambiental orientada a la prevención y predicción.
- ✓ Mejora en la productividad de los trabajadores petroleros y de las instalaciones basada en la confiabilidad de las operaciones.
- ✓ Participación activa de la alta dirección.

## **2.2 MARCO HISTÓRICO.**

La historia es el camino por el cual podemos comprender el porque del presente, así que, de no ser por el pasado no sabríamos como manejar el presente para obtener un futuro planeado, ordenado y controlable. De esta forma evitar errores técnicos o humanos que nos puedan llevar a un Accidente Catastrófico.

### **2.2.1 HISTORIA DE RIESGOS INDUSTRIALES.**

Entre los accidentes catastróficos más importantes que han ocurrido en el mundo podremos encontrar a: la emisión de la sustancia química conocida como isocianato de metilo en Bhopal India el 02 de diciembre de 1984, que provocó más de 2,000 muertos



y alrededor de 200,000 heridos. Dos semanas antes aproximadamente se había producido una explosión de gas natural en el Estado de México que ocasionó la muerte de 650 personas y varios miles de heridos (Ver Tabla 2.2).

Aún cuando estos casos pudieron ser distintos por la forma en que se produjeron y las sustancias químicas que intervinieron en ellos, todos comparten una característica común; fueron acontecimientos no controlados, constituidos por incendios, explosiones o escapes de sustancias tóxicas que ocasionaron la muerte o lesiones de un gran número de personas dentro y fuera de la planta, causando al igual amplios daños en las instalaciones. A las actividades de almacenamiento, manejo y uso de sustancias químicas, inflamables, explosivas o tóxicas que pueden causar desastres, se les puede denominar con justa razón riesgos de accidentes mayores.

Por lo tanto este riesgo potencial depende del carácter inherente de la sustancia química y de la cantidad acumulada en el lugar.



Tabla 2.2 Accidentes más Catastróficos en el Mundo.

LUGAR	FECHA	CONSECUENCIAS		SUSTANCIAS
		MUERTOS	HERIDOS	
Cleveland Ohio en E.U.	1944	136	77	Metano
Feyzin en Francia	1966	18	90	GLP <sup>1</sup> (Bleve <sup>2</sup> )
Staten Island N.Y. en E.U.	1973	40	--	Gas Natural Licuado
Santa Cruz en México	1978	52	--	Metano
San Juan Ixhuatepec en México	19-Nov-1984	650	2500	GLP <sup>1</sup> (Bleve <sup>2</sup> )
Bhopal en India	02-Dic-1984	2000	200.000	Isocianato de Metilo

<sup>1</sup>Gas Licuado de Petróleo. <sup>2</sup>Explosión de Líquido en Ebullición con Desprendimiento de Vapor en Expansión.

En estos últimos años se han hecho muchos esfuerzos en la elaboración de una legislación para regular los riesgos principales. La más destacada es la de la Comisión de las Comunidades Europeas (CCE), que en 1982 promulgó una directiva sobre los principales riesgos de accidentes de ciertas actividades industriales.

Según la definición de esa directiva, la explosión "accidente principal" significa un acontecimiento, como una emisión importante,





un incendio o una explosión resultantes de hechos controlados en el curso de una actividad industrial que provoque un peligro grave para el hombre, inmediato o aplazado, dentro o fuera de las instalaciones y para el medio ambiente (entorno ecológico), y que involucre una o más sustancias peligrosas.

El rápido aumento del empleo de sustancias químicas peligrosas en la industria ha producido un considerable incremento en el número de trabajadores industriales, así como la población aledaña a las instalaciones, al poner en peligro sus vidas, ya que en cualquier momento se puede presentar algún accidente, el cual puede traer consigo grandes destrozos.

El rápido y acelerado avance tecnológico hace cada día más necesario que el diseño y los procedimientos sean corregidos o actualizados desde sus bases. Sin embargo, en la industria química las salvaguardas no se limitan solamente a las instalaciones de la planta, la preocupación pública por las múltiples lesiones y muertes que causan accidentes catastróficos como una gran explosión, dando origen a peticiones de una mayor prevención y regulación tanto en el plano nacional como en el internacional. Por ende, en particular con proyectos que atañan el almacenamiento y uso de sustancias químicas peligrosas, conviene abordar el problema de la seguridad en el lugar mismo y fuera de él, y decidir que medidas se deberán tomar a corto y largo plazo.

Los riesgos industriales suelen estar relacionados con la posibilidad de incendio, explosión o dispersión de sustancias químicas



tóxicas y por lo general tienen que ver con el escape de material de un recipiente, seguido en el caso de sustancias volátiles, de su evaporación y dispersión. Entre los accidentes relacionados con los riesgos principales cabe mencionar los siguientes:

- ✓ Escape de material tóxico, formación de una nube de vapor tóxica y arrastre de la nube; Es un claro ejemplo de accidente que afectará en una forma catastrófica al lugar y definitivamente a la zona poblacional.
- ✓ Los pasos para que se presente un incendio o una explosión serían: escape de material inflamable, mezcla del material con el aire, formación de una nube de vapor inflamable y arrastre de la nube hasta una fuente de ignición, esto afectaría el lugar donde se origina y posiblemente a zonas aledañas. Si la nube se llega a inflamar, los efectos de la combustión dependerán de múltiples factores entre ellos la velocidad del viento y la medida en que la nube se diluya con el aire. Estos riesgos causan un gran número de víctimas y daños en gran parte de la zona en donde ocurre el incidente.

### **2.2.2 DESCRIPCIÓN DE ALGUNAS REFINERÍAS.**

En México la construcción de las Refinerías se inició en 1902, en Minatitlán Veracruz, pero no fue hasta finales de los años veinte cuando se realizaron los primeros diseños para plantas de destilación primaria, con base a un crudo de una composición determinada. En 1930 existían en el país tan sólo dos refinerías; la de Tampico en



Tamaulipas y la de Minatitlán en Veracruz, que abastecían la zona centro de la República por medio de auto-tanques.

La refinería "General Lázaro Cárdenas", en Minatitlán, se encuentra colindando con los Estados de Tabasco, Oaxaca y Chiapas en el poblado de Minatitlán, inicio sus operaciones en 1902 y quedó totalmente remodelada en febrero de 1956. Los productos que refina le llegan de los yacimientos de Veracruz, Chiapas y Tabasco principalmente. Abastece en gran parte la zona sur del país.

El clima en el estado de Veracruz es variado debido a que cuenta con montañas, así como costa; en Minatitlán se cuenta con climas cálidos húmedos y subhúmedos, siendo el clima que predomina en un 80% el territorio de este estado. Aquí la temperatura media anual es de 22° a 26°C y la precipitación total anual varía de 2,000 a poco más de 3,500 mm. La vegetación con la cuál contamos es de tierra de cultivos. Pertenece a la región hidrológica Coatzacoalcos la cual corresponde a lo que geográficamente podría llamarse vertiente del golfo de la zona istmeña, parte de la cuál corresponde al sur de Veracruz.

Una de las construcciones más nuevas es la Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime", en Salina Cruz, Oaxaca, localizada a orillas del Golfo de Tehuantepec, sobre la Sierra Madre del Sur, de cara al Océano Pacífico. Esta refinería fue puesta en operación el 24 de agosto de 1979. El crudo que procesa le llega de los yacimientos de Chiapas, Tabasco, Campeche y Veracruz.



En Oaxaca de acuerdo a su configuración topográfica, existen diversos tipos de climas. La refinería se encuentra en la planicie costera, donde predomina un clima tropical lluvioso en verano e invierno y su temperatura media anual es superior a los 18 °C; La precipitación media anual es de 750 mm. Pertenece a la región hidrológica de Tehuantepec, localizada en la zona del istmo, cubre una gran extensión e incluye importantes corrientes tales como los ríos Tehuantepec, Juchitan, presa Benito Juárez y laguna superior principalmente.

## **2.3 TÉCNICA DE ANÁLISIS DE RIESGOS.**

### **2.3.1 ANÁLISIS GENERAL DE RIESGOS.**

El análisis de riesgos es el elemento 3 del paquete de información para la Administración de la Seguridad de los Procesos de la OSHA.

El procedimiento del análisis consiste en hacer una descripción completa del proceso, analizar de manera sistemática cada una de sus partes, detectar desviaciones de la intención del diseño y determinar si dichas desviaciones pueden originar riesgos.

Este análisis debe de hacerse en cada una de las etapas del proceso del área, desde el diseño conceptual pasando por la



ingeniería básica y la de detalle hasta su desmantelamiento. Se usan una serie de palabras guías y se formulan preguntas al equipo multidisciplinario con el fin de identificar y evaluar los riesgos encontrados. Identificados los riesgos potenciales, se determinan las causas, consecuencias y se establecen las medidas de protección y correctivas requeridas para reducir o eliminar los riesgos latentes.

Se documentan las causas más probables, de acuerdo con el equipo multidisciplinario que participa en el análisis, así como las consecuencias que dejan mayores pérdidas.

La identificación de riesgos es el paso más importante del análisis, ya que cualquier riesgo no identificado, no puede ser objeto de estudio y éste se vuelve un riesgo incontrolable. Una vez identificado el riesgo es necesario que se tomen todas las medidas necesarias para reducirlo, incluso si la evaluación cuantitativa es defectuosa.

Existen varias técnicas de identificación y evaluación de riesgos que han demostrado ser eficientes en la práctica profesional desde hace varios años. Los métodos de identificación de riesgos se dividen en las siguientes tres categorías que se muestran en la *Tabla 2.3*.



Tabla 2.3 Principales Métodos utilizados en la identificación de riesgos.

MÉTODOS	TÉCNICAS
Métodos Comparativos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Códigos y Normas</li> <li>• Listas de Comprobación (Checklist)</li> <li>• Análisis Histórico de Accidentes</li> </ul>
Índices de Riesgos o de Clasificación Relativa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice Dow.</li> <li>• Otros Índices (Mond, Ifal, etc.)</li> </ul>
Métodos Generalizados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>➢ Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp)</li> <li>• Análisis de Modalidad de Fallas y Efectos (AMFE)</li> <li>• Análisis de Árbol de Fallas (AAF)</li> <li>• Análisis de Árbol de Eventos (AAE)</li> <li>➢ Análisis de Riesgos ¿Qué pasa si...? (What If)</li> </ul>

Los métodos comparativos son aquellos que se basan en la experiencia previa acumulada en un campo determinado, ya sea como registro de accidentes previos o recopilados en forma de códigos, normas, etc. Los índices de riesgos no identifican riesgos concretos, pero señalan las áreas de mayor concentración de riesgos que requieran un análisis más profundo o medidas suplementarias de seguridad. Los métodos generalizados proporcionan esquemas de razonamiento que se aplican en principio a cualquier situación, lo que los convierte en herramientas de análisis, versátiles y de gran utilidad en la industria.

El análisis de riesgo es un estudio de la planta o área que se lleva a cabo con la ayuda de los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y sobretodo, con la participación del equipo



multidisciplinario. En este análisis también deberán de tomarse en cuenta otros factores como son:

- ✓ Condiciones normales de funcionamiento.
- ✓ Reacciones químicas.
- ✓ Condiciones anormales de funcionamiento y de urgencia.
- ✓ Riesgos físicos, químicos, biológicos y psicológicos.
- ✓ Condiciones climatológicas: Dirección y velocidad media del viento, temperatura y humedad máxima y mínima; dado sus efectos sobre la dispersión y concentración de sustancias volátiles, inflamables y tóxicas.

La importancia del análisis de riesgos en las primeras etapas de diseño de la planta o área, es para que permita tomar acciones que eviten costos mayores por cambios, modificaciones o por un mal diseño.

El éxito de un buen análisis de riesgos depende de cuatro aspectos principalmente:

- ✓ La precisión de los diagramas (DTI's, DFP's, etc.) y otros datos utilizados para el estudio.
- ✓ Los conocimientos técnicos del grupo multidisciplinario.
- ✓ La capacidad del moderador y del grupo multidisciplinario para utilizar el método como un medio auxiliar para encontrar desviaciones, causas y consecuencias.
- ✓ La capacidad del grupo multidisciplinario para mantener una actitud propositiva, en particular cuando se evalúa la gravedad de los riesgos de accidentes encontrados.



Las Ventajas de un Análisis de Riesgos son:

- ✓ Mejora en las relaciones con las leyes regulatorias y la comunidad.
- ✓ Mejoras en el entendimiento del proceso.
- ✓ Operaciones más eficientes y productivas.
- ✓ Pocos accidentes en la vida útil de un proceso.
- ✓ Disminución de descargas al medio ambiente.
- ✓ Reducción de las consecuencias de accidentes que puedan presentarse.

*Un análisis de riesgos aunque bien realizado no garantiza que los accidentes no ocurran, si las medidas preventivas y de control no son implementadas.*





## **2.4 TÉCNICAS UTILIZADAS EN LA TESIS.**

### **2.4.1 ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD “HAZOP”.**

La técnica HazOp fue desarrollada a mediados de los años 60's por ingenieros de prevención de pérdidas y confiabilidad de la división Mond de la empresa Imperial Chemical Industries (ICI), de Gran Bretaña.

El análisis HazOp sirve para identificar problemas de seguridad en una planta y es de gran ayuda para mejorar la operación de la misma. La suposición de esta técnica es que los riesgos de operación aparecen como consecuencia de las desviaciones de las condiciones normales en una determinada etapa de la planta, por ejemplo: arranque, operación normal en régimen estacionario, no estacionario y en paro de la misma. Una de las ventajas que tiene esta técnica con las ya mencionadas es de que este análisis puede aplicarse en la etapa de diseño como si ya estuviera construida la planta.

La técnica HazOp se basa en dos puntos principales:

- Carácter sistemático porque hace un examen basado en la aplicación sucesiva de palabras guía que proporciona una estructura de razonamiento que facilita la identificación de desviaciones, causas, consecuencias y acciones correctivas.
- Carácter multidisciplinario porque se aplica con la participación de un grupo de las diferentes áreas de la



ingeniería para discutir e identificar posibles riesgos y establecer medidas correctivas, para disminuir la posibilidad de su ocurrencia.

## METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS HAZOP

La información requerida por la técnica es la siguiente:

- ✓ Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) actualizados.
- ✓ Planos de los sistemas contra-incendio y de conexión a tierra.
- ✓ Balance de materia y energía.
- ✓ Capacidades de diseño, materiales de construcción y especificaciones.
- ✓ Procedimientos operacionales.
- ✓ Registros históricos de incidentes.
- ✓ Fallas de equipo o componentes.

Para el desarrollo del análisis se requiere como primer paso la formación de un equipo multidisciplinario formado por los siguientes Ingenieros:

- ✓ Ingeniero de proyectos.
- ✓ Ingeniero de procesos.
- ✓ Ingeniero instrumentista.
- ✓ Ingeniero de mantenimiento de plantas.
- ✓ Ingeniero de seguridad.



Además, se requiere de personal con experiencia en la aplicación del análisis, su objetivo primordial consiste en actuar de mediador, asegurándose de que se aplica adecuadamente la técnica, sin descuidar ningún detalle y estimular la participación entre los miembros del equipo formado.

La sistemática del análisis HazOp se indica en la Figura 2.1. En primer lugar se aplican las palabras guía (*Ver Tabla 2.4*) a los parámetros seleccionados para una unidad o sección del proceso y posteriormente se determinan las causas, consecuencias y acciones correctivas de una desviación.

Finalmente el equipo HazOp propone soluciones correctivas, y evalúa su costo de acuerdo a su clasificación y jerarquización.

En el análisis HazOp es preciso garantizar un registro de los resultados del análisis, lo que generalmente se realiza en columnas como se muestra en el ejemplo de la Figura 2.2.

#### TÉRMINOS USADOS EN UN ANÁLISIS HAZOP

Los términos más comunes utilizados en esta técnica se definen a continuación:

**Causa:** Es lo que hace que un incidente o accidente ocurra. Falla de un instrumento, equipo, condiciones climatológicas, etc. Las causas inmediatas pueden tener causas secundarias que las



provocan, las cuales pueden ser encontradas mediante un estudio más detallado.

**Consecuencia:** Es el daño leve o grave, producto de un incidente o accidente, que se ocasiona a las personas, al medio ambiente y a las instalaciones de la planta.

TABLA 2.4 Significado de las Palabras Guías

<b>PALABRAS GUÍA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>
<b>No</b>	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño. Ejemplo: No hay flujo en la línea.
<b>Más</b>	Aumento cualitativo sobre la variable de diseño. Ejemplo: Más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor presión, etc.
<b>Menos</b>	Disminución cualitativa sobre la variable de diseño. Ejemplo: Menos temperatura, menor presión, etc.
<b>Además de / También como</b>	Aumento cualitativo. Si se modifican las variables de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: El vapor consigue calentar al reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos.
<b>Parte de</b>	Disminución cualitativa. Sólo parte de los hechos transcurren según la intención de diseño. Ejemplo: Se tiene flujo preferencial en los serpentines.
<b>Inversión</b>	Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: El flujo transcurre en sentido inverso, se da la reacción inversa, etc.
<b>En vez de / Otro que</b>	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo totalmente distinto. Ejemplo: Cambio de catalizador, falla el modo de operación de la unidad, etc.



Figura 2.1. Sistemática del Análisis HazOp.

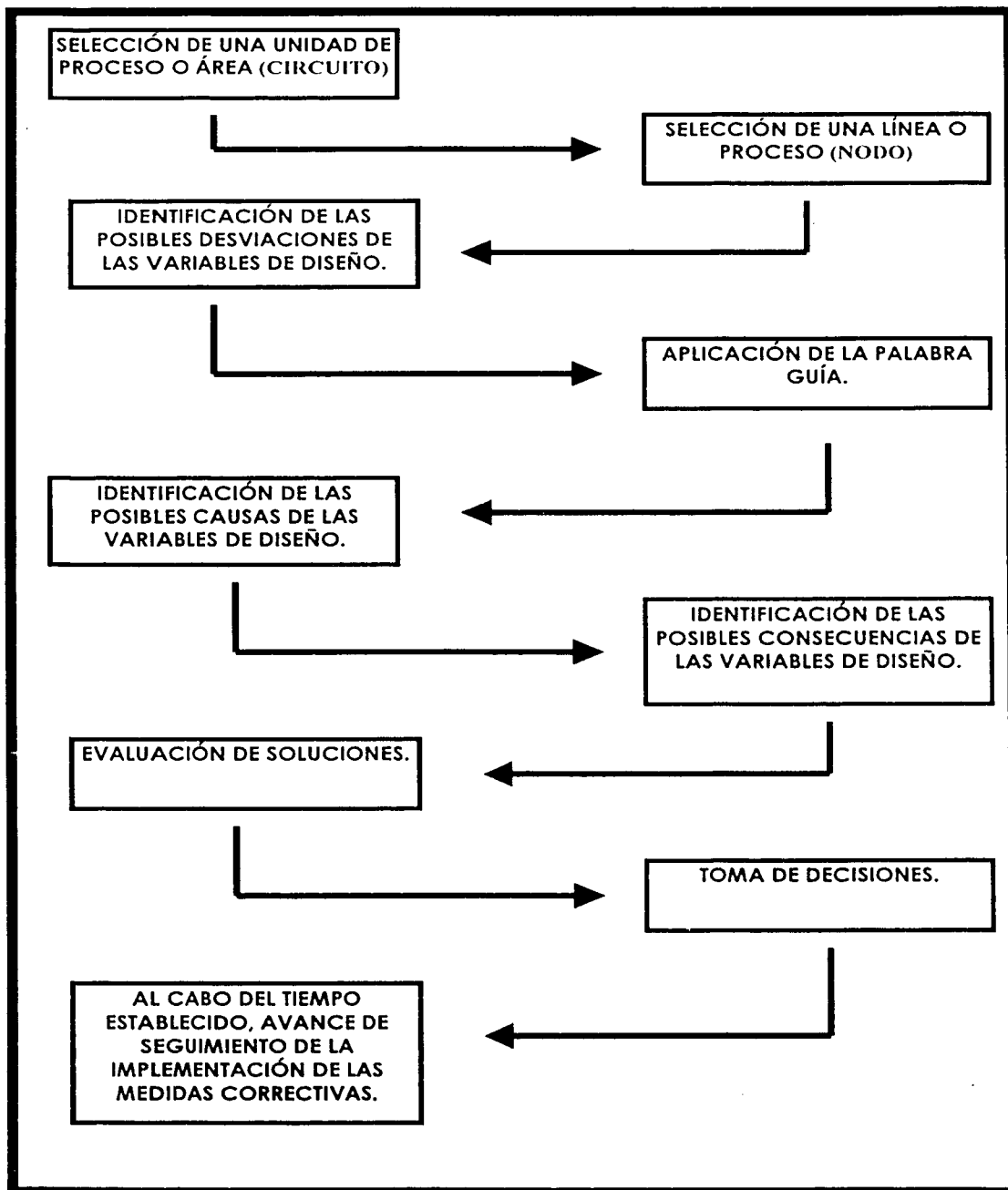





Figura 2.2 Hoja de Registro de Sesiones "HazOp".

	Compañía:	Área y/o proceso	Fecha:				
	Nodo:						
	Diagramas:			Producto:			
Desviación:			Técnica:				
Causas	Consecuencias	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase

**Desviación:** Es la combinación de la palabra guía con el parámetro que indican una modificación cualitativa o cuantitativa de la variable de diseño.

**Nodo:** Es una subdivisión de un sistema de proceso, que tiene un origen, en donde comienzan nuevas propiedades del material procesado, y un destino, en donde nuevamente hay un cambio de propiedades. Éste debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y suficientemente grande para que sea significativo.

**Parámetro:** Es una manifestación física o química del proceso como flujo, nivel, presión, temperatura, velocidad, composición, mezcla, ignición, etc.

**Palabra guía:** Es aquella que indica la desviación parcial o total de la variable de diseño.



**Salvaguarda o protección:** Es un conjunto de medidas presentes en un sistema de proceso (tubería, recipiente, reactor, etc.) para eliminar la probabilidad de que ocurra un accidente o para mitigar sus efectos.

### **2.4.2 ANÁLISIS ¿QUÉ PASA SÍ...? (WHAT IF).**

El análisis What if es comparativamente, menos estructurado que el análisis HazOp, que se acaba de exponer, aunque su aplicación presenta algunas analogías evidentes. Debido a esta falta de estructura, se requiere de una mayor experiencia por parte de los participantes en el equipo multidisciplinario que lo lleva a cabo, ya que de lo contrario son más que probables omisiones importantes.

El objeto de un análisis What if es considerar las consecuencias negativas de posibles sucesos inesperados. El análisis What if utiliza la pregunta ¿Qué pasa sí...? aplicada a desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de instalaciones industriales. Las preguntas se realizan sobre áreas concretas (por ejemplo: sistema hidráulico, sistema contra incendios, instrumentación, fugas o explosión, etc.) por un equipo de tres expertos como mínimo que posean documentación detallada de la instalación, procedimientos de operación y acceso a personal de la planta para proveerse de información complementaria. Por lo general, de la aplicación de la pregunta **¿Qué pasa sí...?** se obtienen sugerencias de eventos iniciadores y fallas posibles, a partir de los cuales puede producirse una desviación peligrosa.



### 2.4.3 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Por medio de este análisis se puede estimar la magnitud de los daños ocasionados por un accidente, por ejemplo, al transportar, manejar o procesar una sustancia o material peligroso (tóxico, inflamable o explosivo). Este tipo de estimaciones se realiza mediante modelos matemáticos que requieren de los siguientes aspectos:

- ✓ Características físicas y químicas de las sustancias.
- ✓ Características del contenedor o los contenedores.
- ✓ Características físicas o climatológicas del lugar o sistema de estudio.

Para seleccionar que tipo de modelos se deben usar, primero se determina el escenario de accidente, identificado por alguna técnica de identificación de riesgos, posteriormente se determinan las consecuencias y por último, se cuantifican las pérdidas o daños.

Los accidentes más frecuentes que ocurren en la industria química son los incendios (En el Apéndice A se muestra una distribución porcentual de los incendios industriales, según el tipo de material involucrado) y las explosiones, seguido por fugas de sustancias tóxicas. Desde el punto de vista de análisis de riesgos, la evaluación de consecuencias de incendios y explosiones, requiere el conocimiento de datos que definan el escenario en el cual ocurre el incendio o la explosión. Necesitamos saber, cuanto material dentro





de los límites de inflamabilidad existe en una nube en el momento de la explosión o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado.

### **INFLAMABILIDAD.**

El término inflamabilidad hace referencia a la mayor o menor facilidad con que una sustancia puede arder en el aire o en algún otro gas que pueda servir como comburente. La combustión es una reacción química en la que se libera energía a partir de la oxidación de un material determinado, el fuego es una consecuencia visible.

Los elementos necesarios y suficientes para que se produzca un incendio se esquematizan en el llamado "Triángulo de fuego", que involucra tres elementos.

Son varias las propiedades que intervienen para caracterizar la inflamabilidad de los materiales en distintos grados de importancia. La NFPA clasifica los distintos materiales de acuerdo a sus características de inflamabilidad, dividiéndolos en cinco apartados:

- ✓ Grado de inflamabilidad 0. No arden aún estando expuestos a una temperatura de 815°C en aire durante 5 minutos.
- ✓ Grado de inflamabilidad 1. Necesitan un precalentamiento considerable para arder. Entran materiales que arden en aire a 815°C en menos de 5 minutos y líquidos, sólidos y semisólidos combustibles con punto de flash mayor a 93.4°C.
- ✓ Grado de inflamabilidad 2. En contacto con el aire bajo condiciones normales no forman atmósferas peligrosas, pero si



pueden hacerlo tras un calentamiento moderado o al ser expuestos a altas temperaturas. Líquidos con punto de flash entre 37.8 y 93.4°C.

- ✓ Grado de inflamabilidad 3. Líquidos y sólidos (fibrosos o de granulometría relativamente gruesa), así como los que contienen oxígeno en su molécula) sometidos a ignición, pueden arder a condiciones ambientales o próximas a ellas. Dan origen a atmósferas inflamables en aire, prácticamente en todas las condiciones ambientales habituales.
- ✓ Grado de inflamabilidad 4. Materiales que vaporizan rápidamente en condiciones ambientales y proporcionan una combustión rápida. Incluyen gases, materiales criogénicos, líquidos inflamables con punto de flash inferior a 22.8°C y materiales que a causa de su estado físico o propiedades pueden dispersarse con facilidad en el aire, formando mezclas explosivas.

De acuerdo a la NOM-105-STPS-1994 de Seguridad – Tecnología del Fuego – Terminología en el caso de los líquidos, se clasifican en:

- ✓ Extremadamente inflamables: temperaturas inferiores a 0°C.
- ✓ Altamente inflamables: temperatura de 0°C a 21°C.
- ✓ Inflamables: temperaturas de 21°C a 55°C.

*Los límites de inflamabilidad* proporcionan el intervalo de concentraciones de combustible (normalmente en por ciento en volumen), dentro del cuál una mezcla gaseosa puede entrar en ignición y arder. Por debajo del límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.)



no existe suficiente combustible para propagar la combustión y por encima del límite superior de inflamabilidad (L.S.I.) no existe suficiente oxígeno para propiciar la combustión.

### **FUENTES DE IGNICIÓN.**

Para que ocurra la ignición es necesario suministrar la energía mínima de ignición para iniciar la inflamación de la mezcla. Algunos ejemplos de fuentes de ignición pueden ser:

- ✓ Superficies calientes.
- ✓ Equipo eléctrico.
- ✓ Ignición espontánea.
- ✓ Chispas y calor debidos a fricción.
- ✓ Niños con fósforos.
- ✓ Ignición intencionada.

### **INCENDIO Y EXPLOSIÓN.**

Los resultados de un incendio o una explosión son:

- ✓ Onda de presión.
- ✓ Formación de proyectiles.
- ✓ Radiación térmica.

Las explosiones pueden ser explosiones físicas, explosiones confinadas y otras pérdidas de contención que dan lugar a explosiones.

En las explosiones físicas, los posibles efectos se reducen a la formación de ondas de choque o la formación de proyectiles,



siempre y cuando no se produzca la ignición de la mezcla. La explosión física puede transformarse en una explosión química, si el gas combustible forma una mezcla con el aire dentro del intervalo de inflamabilidad y que tenga lugar una ignición. A partir de aquí puede ocurrir una explosión de una nube de vapor no confinada (EVNC).

Si se encuentran presentes un líquido y un vapor, y el líquido está por debajo de su temperatura de ebullición, la fase vapor interviene en la explosión, pero si el líquido se encuentra por arriba de su temperatura de ebullición, la explosión física inicial produce la despresurización súbita seguida de una evaporación masiva del líquido sobrecalentado. La explosión en la que participa un líquido hirviente que se incorpora rápidamente al vapor en expansión se conoce como "BLEVE" (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion).

Las explosiones confinadas ocurren cuando hay una combustión, descomposición térmica, reacción incontrolada, calentamiento externo, sobrellenado o colisión, en recipientes de baja resistencia (edificios o silos) o en recipientes de proceso. Las explosiones no confinadas son las que ocurren fuera de edificios o recipientes de proceso. Las explosiones de nubes de vapor no confinadas son las que han dado origen a los accidentes más importantes ocurridos en la industria química.



## **MODELO DE EXPLOSIÓN DE UNA NUBE DE FUEGO NO CONFINADA (EVNC).**

Las consecuencias de la explosión de una nube de vapor no confinada pueden ser catastróficas, se han reportado que son las más importantes en la industria química. No se conoce de manera precisa la forma en que se da la explosión (puede ser deflagación o detonación dependiendo de la velocidad del frente de combustión). En la práctica es común expresar la energía desprendida en equivalentes de TNT y utilizar los datos disponibles de daños por sobrepresión para explosiones con TNT.

Estos datos son comparados con la energía de combustión por unidad de masa de una nube de vapor no confinada y solo una fracción de la energía de la nube contribuye a la explosión. En el apéndice B se muestran los daños típicos como una función de la sobrepresión.

Existe una pequeña restricción del modelo del equivalente de TNT ya que considera que la masa total liberada, está involucrada en la explosión lo cual puede ser motivo de sobreestimaciones. Las detonaciones de TNT producen ondas de choque de presión extremadamente altas con destrucción de prácticamente todo lo que exista en el área inmediata. En una nube de vapor solo una fracción (dada por un factor de explosividad) contribuye al efecto explosivo.



El factor de explosividad es un parámetro que varía en un intervalo de 2 a 20%. Para muchos hidrocarburos alifáticos se utiliza un valor recomendado de 3%.

El modelo tiene las siguientes suposiciones:

- ✓ La temperatura ambiente es de 20°C ( 68°F ).
- ✓ La masa de explosivo se compara con una carga equivalente de TNT.
- ✓ Los efectos en terreno, construcciones y obstáculos no son considerados.

En el apéndice B se muestra la relación de los daños esperados de una explosión con respecto a la sobrepresión. Con estos datos de sobrepresión es posible determinar la distancia a la cual se producen estos daños.

# **CAPÍTULO III**

## *TRABAJO DE CAMPO*

**APLICACIÓN DE LAS TÉCNICAS: ANÁLISIS  
DE RIESGOS (HAZOP Y WHAT IF) Y  
ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**



## CAPÍTULO III

### TRABAJO DE CAMPO

#### 3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.

El área de almacenamiento de gas LP tiene como función el almacenamiento y bombeo de producto a plantas y a ventas. Se cuenta con 27 tanques esféricos de almacenamiento cuyas capacidades se muestran en la *Tabla 3.1*.

En el área de almacenamiento de gas L P se encuentran los siguientes productos: mezcla de butanos (butano, butileno e isobutano), propileno, propano e isopentano, que llegan de las áreas operativas de la refinería y de los complejos petroquímicos Cangrejera y Morelos principalmente; a su vez estos productos son enviados a ventas, a Salina Cruz, a planta deisobutanizadora y a LPG-ducto.

El área de almacenamiento de gas L P abarca un total de 27 tanques esféricos, que se encuentran ubicados en cinco islas distintas, además de 16 bombas con sus respectivos relevos ubicadas en tres casas de bombas diferentes presentando las siguientes características:





Tabla 3.1 Manejo de Gas Licuado de Petróleo en la Refinería.

ZONA	ESTERA	MEZCLA	CAPACIDAD	ÁREAS DE	DISTRIBUCIÓN
1	FA-202	Butano	20,000	Área 2 (DIC <sub>4</sub> , CPC y CPM)	LPG-ducto
	FA-203	Isobutano	15,000	Área 2 (DIC <sub>4</sub> )	Salina Cruz
	TE-405	Mezcla de Butanos y Propano	15,000	Área 2 (DIC <sub>4</sub> ), Área 3, Área 4 (FCC) y Área 5 (U-600)	LPG-ducto Ventas y Deisobutanizadora
	TE-406				
	TE-407				
	TE-408				
	TE-409				
	TE-410				
2	TE-1	Butano/ Butileno	5,000	Área 4 (FCC)	TE-405 a 410 y ventas
	TE-2				
	TE-3				
	TE-4	Butileno	5,000	Área 2 (DIC <sub>4</sub> ) y Área 3 (FCC)	TE-405 a 410 y ventas
	TE-5	Butileno	5,000	Área 2 (DIC <sub>4</sub> ) y Área 3 (FCC)	TE-405 a 410 y ventas
3	TE-110	Butanos	12,000	Área 1, Área 2 Área 3 y Área 5	TE's 405 a 410 y ventas
	TE-111				
	TE-112				
	TE-113				
4	TE-300	Mezcla de Butanos	12,000	Complejo Petroquímico Cangrejera y Morelos	Área 2
	TE-301				
	TE-302				
	TE-303				
5	TE-304	Fuera de operación	20,000	-----	-----
	TE-305				
	TE-306				
	TE-307				
	TE-401	Isomerizado	15,000	CPC	a Ventas (Ductos)
	TE-402	Propileno		Área 4 (Splitter C <sub>3</sub> /C <sub>3</sub> )	



### **TANQUES ESFÉRICOS**

**FA-202** de Butano con capacidad de 20,000 Bls, presión de diseño de 15 Kg/cm<sup>2</sup> y temperatura de 38 °C.

**FA-203** de Isobutano con capacidad de 15,000 Bls, 16.164 m de diámetro, 15 Kg/cm<sup>2</sup> de presión de diseño y temperatura de 38 °C.

**TE-405, TE-406, TE-407, TE-408, TE-409 y TE-410** de mezcla de butanos y propano con capacidad de 15,000 Bls, 16.164 m de diámetro, 15 Kg/cm<sup>2</sup> de presión de diseño y 38 °C de temperatura cada una.

**TE-1, TE-2 y TE-3** de butano / butileno con capacidad de 5,000 Bls.

**TE-1101A y TE-1101B** de isobutano con capacidad de 5,000 Bls.

**TE-110, TE-111, TE-112 y TE-113** de butanos con capacidad de 12,000 Bls, 15.5 m de diámetro y 6 Kg/cm<sup>2</sup> de presión.

**TE-300, TE-301, TE-302 y TE-303** de mezcla de butanos con capacidad de 12,000 Bls, diámetro de 15.36 m y elevación de 17.20 m.

**TE-304, TE-305, TE-306 y TE-307** con capacidad de 20,000 Bls. Fuera de operación.

**TE-401** de isopentano con capacidad de 15,000 Bls.

**TE-402** de propileno con capacidad de 15,000 Bls.

- Se tomaron solamente algunas bombas para describirlas en forma general y presentan las siguientes características:

### **DE CASA DE BOMBAS DE LPG.**

**BA-203 A/B** de tipo vertical, con una capacidad de 1,500 GPM y  $\Delta P$  de 475 psi.



**GA-205 A/B** de tipo vertical, con una capacidad de 594 GPM y  $\Delta P$  de 54.6 psi.

**GA-206 A/B** de tipo vertical.

**BA-17 A/B** de tipo horizontal, con una capacidad de 594 GPM y  $\Delta P$  de 54.6 psi.

**BA-22 A/B** de tipo vertical, con una capacidad de 1,750 GPM y  $\Delta P$  de 320 psi.

**BA-23 A/B/C** de tipo horizontal.

**BA-23 D** de tipo horizontal, con una capacidad de 22.8 GPM.

#### **DE CASA CENTRAL DE BOMBAS.**

**P-1460/1461/1462** de tipo horizontal con capacidad 300 GPM y  $\Delta P$  de 200 psi.

**P-1454B** de tipo horizontal con capacidad de 100 GPM y  $\Delta P$  de 90 psi.

**P-1206/1207/1208** de tipo horizontal con capacidad de 300 GPM y  $\Delta P$  de 68 psi.

**P-17 A/B** tipo horizontal con capacidad de 150 GPM y  $\Delta P$  de 108 psi.

**P-18 A/B** tipo horizontal con capacidad de 150 GPM y  $\Delta P$  de 70 psi.

#### **DE CASA N° 1 DE BOMBAS.**

**BA-3901A/3901B/3901C** de tipo horizontal, con una capacidad de 1,200 GPM y  $\Delta P$  de 370 psi.

El área recibe una mezcla de butanos de los complejos Petroquímicos Cangrejera y Morelos, con la composición aproximada 5% propano, 25% a 30% de isobutano, 60% de butano y 5% de pentano, esta mezcla es enviada a las esferas TE-300/301/302/



303, de estas esferas la mezcla de butanos es enviada a casa de bombas N° 1 (BA-3901 A/B/C), y de ahí es bombeada al área 2 (planta deisobutanizadora); también de Cangrejera y Morelos la mezcla de butanos es enviada al tanque esférico FA-202, así como butanos de la planta deisobutanizadora. El tanque FA-202 envía la mezcla a casa de bombas de LPG (GA-205 A/B); la planta deisobutanizadora envía además mezcla de butanos a esferas TE-405, 406, 407, 408, 409 y 410 e isobutano a FA-203, y esta última envía el isobutano a casa de bombas de LPG (GA-206 A/B), para ser enviado a Salina Cruz. Por otra parte, el propano es enviado a TE-405/410 de áreas operativas (FCC y U-600), y también llegan butanos de casa central de bombas (P-1460, 1461, 1462 y P-1454B) para enviarlos posteriormente a casa de bombas de LPG (BA-23 A/B/C/D), y de ahí se envía una mezcla de butanos y propano hacia el LPG-ducto, y de igual manera la casa de bombas de LPG (GA-205 A/B) envía butano a deisobutanizadora.

*Por otro lado, el isobutano de área 2 (deisobutanizadora y fraccionadora de mezcla de butanos) es enviado a las esferas TE-1101 A/B, para ser enviado a ventas por medio de casa central de bombas (P-1206/1207/1208) y también es trasegado hacia FA-203 por CCB (P-1460/1461/1462 P-1454B); también del área 4 (FCC) se envía una mezcla aproximada del 50% butano y 50% butileno a TE-1/2/3, para ser enviado a casa central de bombas y de ahí a ventas y trasiegos a TE-405, 406, 407, 408, 409 y 410.*



De las áreas operativas se reciben butanos en los tanques TE-110, 111, 112 y 113. De aquí son enviados a casa central de bombas y posteriormente a ventas como butano-butileno y butanos a TE-405 a 410. El isopentano del Complejo Petroquímico Cangrejera se envía al TE-401, de aquí se envía a casa central de bombas y después a mezclado para preparación de la Gasolina PEMEX-Magna. Por último el propileno, se envía del área 4 (splitter propano / propileno) a la esfera TE-402, para ser enviado a casa central de bombas donde se bombea a ventas por ducto.

Todo lo anterior se puede resumir en la *Tabla 3.1* que se refiere al manejo de Gas L.P. en la Refinería. Es conveniente mencionar que también se cuenta con el sistema contra incendio ubicado en los tanques esféricos y las bombas, éste puede ser activado automáticamente o manualmente.



### 3.2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.

Se llevó a cabo la recopilación de información, la descripción del área de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo, la captura y actualización de los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) y los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's).

Una vez actualizados los diagramas, se seleccionaron los circuitos para el estudio de análisis de riesgos y operabilidad HazOp, así como el estudio What if, esta selección se hizo considerando los siguientes puntos:

- ✓ Nivel de peligrosidad de los productos que se manejan en el área.
- ✓ Nivel de peligrosidad del área.
- ✓ Tipo y cantidad de material procesado, almacenado o transportado.
- ✓ Modificaciones y/o cambios realizados al proceso o equipo.
- ✓ Registro de incidentes o accidentes ocurridos.

Este trabajo fue realizado en el área de almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo, en Minatitlán Ver. Y en el Lab. E-212 de la Facultad de Química de la UNAM.

El Análisis de Riesgos se realizó en el Circuito de Isobutano, "Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 hacia



Terminal de Almacenamiento y Distribución (Ventas)" aplicando las técnicas: HazOp, What if y Análisis de Consecuencias.

### **3.3 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.**

En el área de almacenamiento de Gas L.P. se realizó un Análisis de Riesgos, con el fin de detectar posibles desviaciones de la intención de diseño, mediante las técnicas HazOp y What if.

La Información requerida para realizar el Análisis de Riesgos, tanto para la técnica HazOp como la técnica What if, fue la siguiente:

- ✓ Diagramas de Tubería e Instrumentación del Área de Gas Licuado de Petróleo.
- ✓ Diagramas de Flujo de Proceso del Área de Gas Licuado de Petróleo.
- ✓ Procedimientos de operación, mantenimiento, emergencia, entre otros.
- ✓ Condiciones de operación y de proceso.
- ✓ Sistemas de alarmas, detección y estrategias de control utilizadas en el área.

Para la realización del análisis es necesario, tener conocimiento de las actividades que se llevan a cabo en el área. Por lo que, previamente, se realizó la revisión de los manuales de operación y mantenimiento, la información de control automático existente, los programas de capacitación y adiestramiento, los planes de



emergencia, los registros históricos de incidentes, accidentes y registros de calibración y prueba de líneas y válvulas. Esta información debe de cumplir con los procedimientos normativos internos y la normatividad nacional.

Una vez que se tiene la información suficiente, se seleccionaron los circuitos en orden jerárquico, dividiéndolos en nodos, para la posterior aplicación del análisis de riesgos. Antes de las sesiones, se revisan o se actualizan los DTI's, DFP's y los Diagramas de Localización, con el fin de tener un reflejo de lo existente en campo, por lo que se convierte en *información clave*.

En el área de almacenamiento y manejo de Gas LP se seleccionaron un total de 14 nodos (Ver Tabla 3.2), pertenecientes a dos circuitos (Propileno e Isobutano), para realizarles un análisis de riesgos, éstos fueron seleccionados basándonos en la experiencia del equipo multidisciplinario, así como aplicando nuestros criterios.

Una vez seleccionado el nodo, se hace una descripción de la intención de diseño con el equipo multidisciplinario y se seleccionan los parámetros importantes de operación y de proceso. Durante el análisis de riesgos se identifican desviaciones de la intención de diseño:

- ✓ Causas
- ✓ Consecuencias.
- ✓ Protecciones Existentes.
- ✓ Se determina el nivel del riesgo encontrado.





- ✓ Por último se hacen recomendaciones para eliminar o reducir estos riesgos y se establecen las acciones requeridas para implementarlas.

**Tabla 3.2 Nodos Analizados en el Proyecto SIT-006/2001.**

Circuito de Propileno:	
Nodo 1	Línea de la torre fraccionadora DA-901 hacia el tanque esférico TE-402.
Nodo 2	Almacenamiento y manejo del tanque esférico TE-402.
Nodo 3	Descarga de bombas P-18 A/B hacia terminal de almacenamiento y distribución (ventas).
Nodo 4	Descarga de bomba P-1460 hasta trampa de diablos y el Cpq. Morelos.
Nodo 5	Línea del tanque esférico TE-402 a la succión de la bomba P-1460.
Nodo 6	Línea del tanque esférico TE-402 a la succión de la bomba P-18 A/B.
Circuito de Isobutano:	
Nodo 1	De la torre DA-106/107/210 en el área 2 de carga No. 3, estabilizadora, hasta el tanque esférico TE-1101 A/B.
Nodo 3	Almacenamiento y manejo del Tanque esférico TE-1101 A/B.
Nodo 4	Almacenamiento y manejo del Tanque FA-203.
Nodo 5	Succión de la bomba P-1206/1207/1208 del tanque esférico TE-1101 A/B.
Nodo 6	Succión de la bomba GA-206 A/B desde el tanque FA-203.
Nodo 7 (HazOp)	Descarga de la bomba P-1206/1207/1208 hacia terminal de almacenamiento y distribución (ventas).
Nodo 7 (WhatIf)	Descarga de la bomba P-1206/1207/1208 hacia terminal de almacenamiento y distribución (ventas).
Nodo 8	Descarga de la bomba GA-206 A/B hasta la trampa de diablos.
Nodo 9	De la torre DA-106/107/210 hacia FA-203 (incluye inyección butano / butileno).



### **3.3.1 MATRICES Y DATOS UTILIZADOS EN EL ANÁLISIS HAZOP, WHAT IF Y DE CONSECUENCIAS.**

También mediante el Análisis de Riesgos se identifican los escenarios de accidentes, aquellos que tienen una alta probabilidad y que pueden ocasionar cuantiosos daños, por ello se realiza un Análisis de Consecuencias con el propósito de cuantificarlos, tomar decisiones de aceptación o no, elaborar planes de emergencia, evacuación y establecer medidas de protección para mitigar sus consecuencias.

Las matrices que se emplearon en el Análisis de Riesgos "HazOp" fueron cuatro, referentes a:

1. Operación (*Ver Tabla 3.3*).
2. Medio Ambiente (*Ver Tabla 3.4*).
3. Seguridad (*Ver Tabla 3.5*).
4. Pesos Instalaciones (*Ver Tabla 3.6*).

Estas matrices se pueden ver en las hojas siguientes, es preciso mencionar que PEMEX-GIDT considera que es muy necesario el contar con otra matriz para que estos análisis sean de mejor calidad.



La matriz referente a operación se encarga de describir la importancia o significancia que puede tener un accidente, provocando el paro total o parcial de una planta, área o de la refinería.

**Tabla 3.3 Descripción de la Matriz de Operación Utilizada en la Técnica HazOp.**

<b>Severidad</b>	<b>Descripción</b>
4	Paro de equipo o sección de la planta (IMPORTANTE).
3	Paro de una planta (SIGNIFICATIVO).
2	Paro de una o más plantas (MAYOR).
1	Paro de la refinería (CATASTROFICO).
<b>Frecuencia</b>	<b>Descripción</b>
4	Puede ocurrir más de una vez en 100 años (IMPORTANTE).
3	Puede ocurrir hasta 1 vez en 100 año (POSIBLE).
2	Puede ocurrir hasta 1 vez en 10 años (OCASIONAL).
1	Puede ocurrir hasta 1 vez en 1 años (FRECUENTE).
<b>Grado de Riesgo</b>	<b>Descripción</b>
A	Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INACEPTABLE.
B	Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE.
C	Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: ACEPTABLE CON CONTROLES.
D	Prioridad BAJA; Riesgo: ACEPTABLE COMO ESTA.



La matriz referente al Medio Ambiente se encarga de describir la importancia o significancia que puede tener un accidente (por ejemplo: una fuga), provocando trabajos de limpieza total o parcial dentro de la refinería y si es muy grave podría ser fuera de ésta.

**Tabla 3.4 Descripción de la Matriz del Medio Ambiente en la Técnica HazOp.**

<b>Severidad</b>	<b>Descripción</b>
4	Fuga menor (IMPORTANTE).
3	Fuga menor que requiere limpieza dentro de la Refinería (SIGNIFICATIVO).
2	Fuga mayor que NO requiere limpieza fuera de la Refinería (MAYOR).
1	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la Refinería (CATASTRÓFICO).
<b>Frecuencia</b>	<b>Descripción</b>
4	Puede ocurrir más de una vez en 100 años (IMPORTANTE).
3	Puede ocurrir hasta 1 vez en 100 año (POSIBLE).
2	Puede ocurrir hasta 1 vez en 10 años (OCASIONAL).
1	Puede ocurrir hasta 1 vez en 1 años (FRECUENTE).
<b>Grado de Riesgo</b>	<b>Descripción</b>
D	Prioridad BAJA; Riesgo: ACEPTABLE COMO ESTA.
C	Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: ACEPTABLE CON CONTROLES.
B	Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE.
A	Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INACEPTABLE.



La matriz referente a Seguridad se encarga de describir la importancia o significancia que puede tener un accidente que nos pueda dejar pérdidas humanas, así como, uno o varios lesionados dentro o fuera de la Refinería.

*Tabla 3.5 Descripción de la Matriz de Seguridad en la Técnica HazOp.*

<b>Severidad</b>	<b>Descripción</b>
4	Un lesionado dentro de la Refinería (IMPORTANTE).
3	Varios lesionado dentro de la Refinería (SIGNIFICATIVO).
2	Un lesionado fuera de la Refinería (MAYOR).
1	Perdida de UNA o más vidas fuera de la Refinería (CATASTRÓFICO).
<b>Frecuencia</b>	<b>Descripción</b>
4	Puede ocurrir más de una vez en 100 años (IMPORTANTE).
3	Puede ocurrir hasta 1 vez en 100 año (POSIBLE).
2	Puede ocurrir hasta 1 vez en 10 años (OCASIONAL).
1	Puede ocurrir hasta 1 vez en 1 años (FRECUENTE).
<b>Grado de Riesgo</b>	<b>Descripción</b>
D	Prioridad BAJA; Riesgo: ACEPTABLE COMO ESTA.
C	Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: ACEPTABLE CON CONTROLES.
B	Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE.
A	Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INACEPTABLE.



La matriz referente a Instalaciones (costo), se encarga de describir la importancia o significancia que puede tener un accidente dentro o fuera de la Refinería que nos pueda dejar pérdidas económicas importantes hasta catastróficas.

**Tabla 3.6 Descripción de la Matriz de Instalaciones (\$) en la Técnica HazOp.**

<b>Severidad</b>	<b>Descripción</b>
4	Menor a \$250,000.00 (IMPORTANTE).
3	Menor a \$2,500,000.00 (SIGNIFICATIVO).
2	Mayor a \$2,500,000.00 (MAYOR).
1	Mayor a \$25,000,000.00 (CATASTRÓFICO).
<b>Frecuencia</b>	<b>Descripción</b>
4	Puede ocurrir más de 1 vez en 100 años (IMPORTANTE).
3	Puede ocurrir hasta 1 vez en 100 año (POSIBLE).
2	Puede ocurrir hasta 1 vez en 10 años (OCASIONAL).
1	Puede ocurrir hasta 1 vez en 1 años (FRECUENTE).
<b>Grado de Riesgo</b>	<b>Descripción</b>
D	Prioridad BAJA; Riesgo: ACEPTABLE COMO ESTA.
C	Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: ACEPTABLE CON CONTROLES.
B	Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE.
A	Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INACEPTABLE.



La matriz que se empleo en el Análisis de Riesgos "What If" fue solamente una, conformada con frecuencia y severidad, la matriz se encuentra en la *Figura 3.1* y la descripción detallada de esta matriz la podemos resumir y explicar en forma breve en la *Tabla 3.7*.

### 1. Matriz de Riesgos.

*Figura 3.1 Matriz de Riesgos Utilizada en la Técnica What If.*

F R E C U E N C I A	5	4	8	9	9	10
	4	3	7	8	9	10
	3	2	6	7	8	9
	2	1	4	6	7	8
	1	1	2	3	4	5
		1	2	3	4	5
S E V E R I D A D						



Tabla 3.7 Descripción de la Matriz de Riesgos Utilizada en la Técnica What If.

Severidad	Descripción
1	No tiene impacto en la planta, personal o equipo.
2	Daños sólo al equipo o fugas menores.
3	Daños o destrucción mayores, todas las consecuencias se contienen en la instalación.
4	Daños o destrucción mayores a la instalación con consecuencias limitadas.
5	Daños o destrucción mayores a la instalación.
Frecuencia	Descripción
5	Puede ocurrir más de una vez al año.
4	Puede ocurrir hasta 1 vez en 1 año.
3	Puede ocurrir hasta 1 vez en 5 años.
2	Puede ocurrir hasta 1 vez en 10 años.
1	Puede ocurrir no más de 1 vez en la vida de la planta.
Rango de Riesgo	Descripción
1	CLASE C (Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: Aceptable con controles).
2	CLASE C (Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: Aceptable con controles).
3	CLASE C (Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles; Riesgo: Aceptable con controles).
4	CLASE B (Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE).
5	CLASE B (Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE).
6	CLASE B (Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE).
7	CLASE B (Prioridad MEDIA, Acción Evaluar por B/C; Riesgo: INDESEABLE).
8	CLASE A (Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INDESEABLE).
9	CLASE A (Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INDESEABLE).
10	CLASE A (Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: INDESEABLE).



**Características del Nodo Analizado:**

- ✓ Bombas centrífugas P-1206/1207/1208.

Parámetro	Condiciones
Presión de Succión	4 Kg / cm <sup>2</sup>
Capacidad	300 GPM
Presión de Descarga	8 Kg / cm <sup>2</sup>
Temperatura de Op.	32 °C
El motor y la bomba se encuentran bajo techo. Cuenta con nuevo arrancador.	

- ✓ Línea de 4" de diámetro.

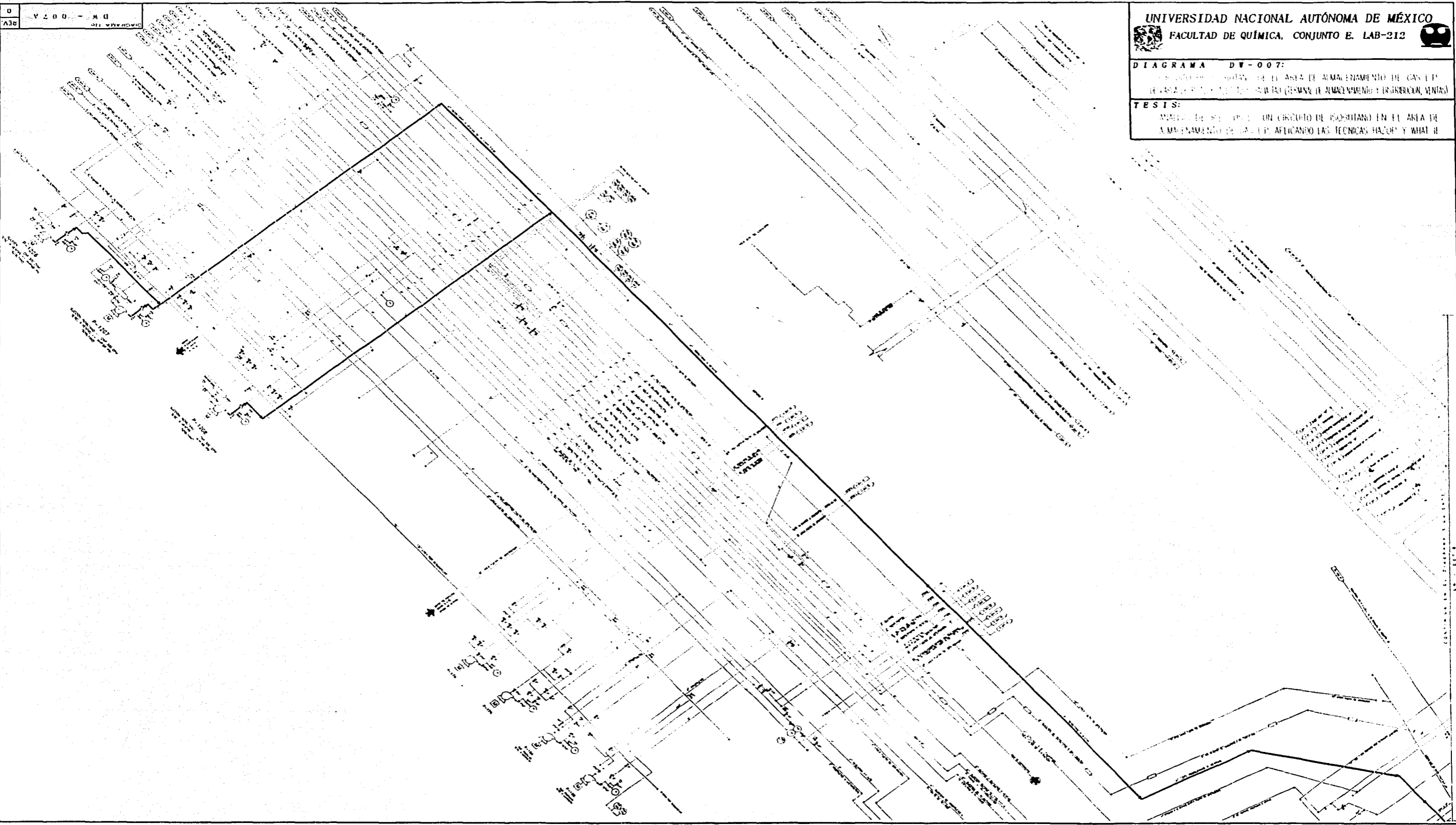
Parámetro	Condiciones
Presión de Operación	8 Kg / cm <sup>2</sup>
Presión de Diseño	10 Kg / cm <sup>2</sup>
Temperatura de Diseño	42 °C
Temperatura de Op.	32 °C
Acero al carbón, Especificación ASTM, A-53 Grado B.	
Línea desnuda a interperie, a nivel de piso sobre mochetes.	

- ✓ Motor eléctrico.

Parámetro	Condiciones
Potencia	50 Hp
Voltaje	480 Volts
Sistema Eléctrico	3 Fases
Revoluciones	3500 rpm
A prueba de explosión, tropicalizado con silicones, tipo horizontal.	
Se han cambiado rodamientos, balanceo de rotor y cuenta con un nuevo arrancador.	



DIAGRAMA DW-007:  
ESQUEMA DE CONEXIONES DE EL AREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.  
DE LA ESCUELA DE QUÍMICA (SEMA DE ALMACENAMIENTO Y TRANSFERENCIA, VENTAS)  
TESIS:  
ANÁLISIS DE UN CIRCUITO DE DISTRIBUCIÓN EN EL AREA DE  
ALMACENAMIENTO DE GAS L.P. APLICANDO LAS TÉCNICAS HAZOP Y WHAT IF





A VENTAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
FACULTAD DE QUÍMICA, CONJUNTO E. LAB-212

DIAGRAMA DW-007:  
CIRCUITO DE COBUTANO DE LA ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.  
PLANTA (R.P. 1200/1201/1202) (ÁREA DE ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN, VENTAS)

TESTIS:  
ANÁLISIS DE RIESGOS DE UN CIRCUITO DE COBUTANO EN EL ÁREA DE  
ALMACENAMIENTO DE GAS L.P. APLICANDO LAS TÉCNICAS HAZOP Y WHAT IF



*HOJAS DE TRABAJO  
DEL ANÁLISIS DE RIESGOS,  
APLICANDO LA TÉCNICA HAZOP*

“QUE SE REALIZÓ EN LA DESCARGA DE  
LA BOMBA P-1 206/1 207/1 208 A  
VENTAS, DEL CIRCUITO DE ISOBUTANO  
DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS  
L.P.”



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007.

Desviación: Alta Presión.

Técnica HAZOP

Causas	Consecuencias	C			F			GR			C			F			GR			Protecciones	Recomendaciones	Prioridad
		C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR						
I. Se encuentra bloqueado el recibo en TAD (ventas).	a. Daños a los sellos de la bomba.																			a. Alarma y disparo por alta presión en la línea de descarga de las bombas.	1. Dejar operable el PLC y panel view de la Casa Central de Bombas.	Baja
	b. Fugas en tuberías y/o accesorio.																			b. Programa de mantenimiento preventivo. c. Programa de calibración de la línea. d. Programa de mantenimiento de limpieza de racks y protección anticorrosiva de la línea.	2. Reubicar el panel view al cuarto de control de operadores de la CCB. 3. Seguir cumpliendo con los programas de mantto. preventivo (limpieza, inspección y calibración de racks, alarmas y disparos).	Baja



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007.

Desviación: Alta Presión.

Técnica HAZOP.

Causas	Consecuencias	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Prioridad
														e. Procedimiento de entrega de Isobutano a ventas.	4. Realizar estudios para determinar la colocación de una línea recirculante por alta presión, así como una PSV.	Baja
														f. Comunicación por radio trunking.		
	c. Incendio y explosión.	4	2	D	4	2	D	4	2	D	4	2	D	g. Sistema de espreas en la CCB.	5. Dejar operable en automático el sistema de espreas de la CCB.	Baja
		4	2	D	4	2	D	4	2	D	4	2	D	h. Plan interno de emergencia No. ARE-002.		
														i. Procedimiento operativo por fuga y/o incendio en la CCB.		



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007.

Desviación: Baja Presión.

Técnica HAZOP.

Causas	Consecuencias	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Prioridad
		2	2	B	3	2	D	4	2	D	3	2	C			
I. Fuga en línea y / o accesorios de descarga.	a. Incendio y explosión.	2	2	B	3	2	D	4	2	D	3	2	C	a. Calibración de espesores.	6. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo.	Media
		2	2	B	3	2	D	4	2	D	3	2	C			
														b. Programa de mantenimiento preventivo.		
														c. Programa de calibración de la línea.	7. Seguir cumpliendo con los programas de mantto. Preventivo (limpieza, inspección y calibración de racks, alarmas y disparos).	Medio
													d. Programa de mantenimiento de limpieza de racks y protección anticorrosiva de la línea.			
														e. Comunicación por radio trucking		





Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007.

Desviación: Baja Presión.

Técnica HAZOP.

Causas	Consecuencias	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Prioridad
														f. Sistema de espreas en el CCB.	8. Mantener operable el PLC y el panel view de la CCB.	Media
														g. Plan interno de emergencia No. ARE-002.	9. Reubicar el panel view al cuarto de control de operadores de la CCB.	Media
														h. Procedimiento operativo en caso de fuga y/o incendio en la CCB.	10. Dejar operable en automático el sistema de espreas de la CCB.	Media



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007.

Desviación: Baja Presión.

Técnica HAZOP.

Causas	Consecuencias	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Prioridad
II. Falla del equipo dinámico, fuga por sellos de la bomba.	a. Incendio y explosión.	2	2	B	2	2	B	2	2	B	4	2	D	a. Programa de mantto. preventivo a la línea.	11. Seguir cumpliendo con el programa de mantto. preventivo.	Media
		2	2	B	2	2	B	2	2	B	4	2	D			
														b. Disparo por baja presión en la línea de descarga.	12. Instalar detectores de gas.	Media



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007.

Desviación: Menos Flujo.

Técnica HAZOP.

Causas	Consecuencias	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Prioridad
I. Fuga de hidrocarburo en la línea y/o accesorios.	a. Fuga en la línea.													a. Programa de mantto. preventivo al equipo dinámico  b. Programa de mantto. preventivo a la línea.	13. Seguir cumpliendo con el mantto. preventivo de equipo dinámico.	Baja
	b. Incendio y explosión.	2	3	C	2	3	C	3	3	D	2	3	C			
		2	3	C	2	3	C	3	3	D	2	3	C			
II. Falla del equipo dinámico, fuga por sellos.	a. Se detiene el bombeo.													a. Sistemas DE espreas en la CCB.  b. Procedimiento operativo de emergencia por fuga de producto.	14. Seguir cumpliendo con el mantto. preventivo de equipo dinámico.	Media
	b. Incendio y explosión.	2	2	B	2	3	C	2	3	C	2	3	C			
		2	2	B	2	3	C	2	3	C	2	3	C			
														c. Plan de emergencia ARE-002.	15. Mantener operable el PLC y el panel view de la CCB.	Media



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagramas: Diagrama de Tubería e Instrumentación DW-007

Desviación: Alta Temperatura.

Técnica HAZOP.

Causas	Consecuencias	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Prioridad	
I. Incendio en el alrededor.	a. Calentamiento externo de la línea de 4" de diámetro.	2	2	B	3	2	D	4	2	D	3	2	C	a. Procedimiento de seguridad y Contra Incendio.  b. Ayudantes Contra Incendio.  c. Rutas de evacuación.	16. Continuar cumpliendo con simulacros contra incendio.	Media	
		2	2	B	3	2	D	4	2	D	3	2	C				
	b. Aumenta la presión en la línea.															17. Continuar con las plantas y prácticas C.I. a todo el personal de la refinería.	Media
	c. Fuga en línea y/o accesorio.														18. Habilitar la escuela de entrenamiento y adiestramiento de C.I.	Media	
	d. Incendio y explosión.																



**HOJAS DE TRABAJO  
DEL ANALISIS DE RIESGOS,  
APLICANDO LA TÉCNICA WHAT IF**

**“QUE SE REALIZÓ EN LA DESCARGA DE  
LA BOMBA P-1206/1207/1208 A  
VENTAS, DEL CIRCUITO DE ISOBUTANO  
DEL ÁREA DE ALMACENAMIENTO DE GAS  
L.P.”**



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Bombas Centrifugas P-1206/1207/1208.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
I. ¿Qué pasa si está bloqueada la descarga en algún punto de la línea al iniciar la operación de la bomba?	a. Fuga por sellos.	2	4	7	a. Procedimientos operativos.	1. Rehabilitar la protección por alta presión en la descarga.	Grupo coordinado del área.	B
	b. Re-presionamiento de la bomba y línea.					2. Realizar estudios de factibilidad para colocar una PSV y una PCV (línea de recirculación).	Operación	B
	c. Fuga en la línea y/o accesorios.							
II. ¿Qué pasa si hay fuga en los sellos de la bomba?	a. Incendio y/o explosión.	3	1	3	a. Sistema C.I. b. Procedimiento de llenado de autotanques	3. Que el personal de llenaderas siga cumpliendo con el procedimiento de llenado de autotanques.	Operación	C



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Bombas Centrífugas P-1206/1207/1208.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
					c. Simulacros operacionales.	4. Aplicar procedimiento operativo en caso de fuga en bombas.	Operación	C
						5. Automatizar el sistema de espreas de C.I.	SITSI	C
						6. Colocar detectores de explosividad de gases.	UEP / DICA / SITSI	C
						7. Agilizar los trámites para la adquisición del refaccionamiento original.	Recursos Materiales	C



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Area / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Bombas Centrífugas P-1206/1207/1208.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
III. ¿Qué pasa si hay alta vibración en la bomba?	a. Se dañan los baleros.	2	3	6	a. Programa predictivo y preventivo a equipo dinámico por mantto. mecánico.	8. Seguir cumpliendo con el mantto. predictivo y preventivo a equipo dinámico.	Mantto. Mecánico	B
	b. Se daña el sello mecánico.							
	c. Se dañan los internos de la bomba.							
IV. ¿Qué pasa si hay alta temperatura en caja de baleros?	a. Se dañan los rodamientos.	2	3	6	a. Programa predictivo y preventivo a equipo dinámico por mantto. mecánico.	9. Seguir cumpliendo con el mantto. predictivo y preventivo a equipo dinámico.	Mantto. Mecánico	B





Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Bombas Centrífugas P-1206/1207/1208.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
					b. Recorridos periódicos por personal de operación.	10. Seguir cumpliendo con el recorrido periódico por personal de operación.	Operación	B
V. ¿Qué pasa si se daña el acoplamiento motor-bomba?	a. Se suspende el bombeo.	2	3	6	a. Programa de mantto. preventivo a equipo dinámico por mantto dinámico.	11. Seguir cumpliendo con el programa de mantto. preventivo a equipo dinámico.	Mantenimiento Mecánico.	B
						12. Agilizar los tramites para la adquisición del refaccionamiento original para contar con ellos en tiempo y forma.	Recursos Materiales	B



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Area / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Bombas Centrifugas P-1206/1207/1208.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
VI. ¿Qué pasa si no hay lubricación en la caja de baleros?	a. Daños a los rodamientos de la bomba.	2	3	6	a. Programa de mantto. preventivo a equipo dinámico por mantto mecánico.	13. Seguir cumpliendo con el recorrido periódico por personal de operación.	Operación	B
					b. Recorridos periódicos por personal de operación.	14. Seguir cumpliendo con el programa de mantto. preventivo a equipo dinámico.	Mantenimiento Mecánico	B
					c. Sistema de lubricación por niebla.	15. Mantener los contratos de servicio para que los sistemas de lubricación por niebla sean instalados en la refinería por compañías externas.	Obras por Contrato	B



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Area / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Bombas Centrífugas P-1206/1207/1208.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
VII. ¿Qué pasa si hay cavitación en la bomba por falta de flujo?	a. Daños a los internos de la bomba.	2	3	6	a. Alarma y disparo por baja presión de succión.	16. Reparar el PLC y panel view dañados.	SITSI / Departamento de Instrumentos y Eléctrico.	B
	b. Daños a los rodamientos de la bomba.				b. Alarma y disparo por baja presión de descarga.	17. Seguir cumpliendo con el recorrido periódico por personal de operación.	Operación	B
	c. Falta de flujo.				c. Alarma y disparo por baja presión de descarga.			
	d. Ruido anormal.				d. Recorridos periódicos por personal de operación.			
	e. Alta vibración.							



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Línea de 4" de Diámetro.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
I. ¿Qué pasa si hay fuego en los alrededores de la línea?	a. Se incrementa la temperatura y presión de la línea.	3	1	3	a. Plan de emergencia interno ARE-002.	18. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación de C.I.	SITSI / Departamento de C.I.	C
	b. Se suspende bombeo.				b. Red de contra incendio. c. Simuláctros de contra incendio.			
II. ¿Qué pasa si hay alta corrosión en la línea?	a. Incendio y/o explosión.	4	1	4	a. Programa de revisión visual de las líneas. b. Programa de calibración de espesores de líneas.	19. Seguir cumpliendo con los programas de revisión visual de líneas, de calibración de espesores y mantenimiento de limpieza de racks.	SITSI / Mantto. Civil / Mantto. de Plantas	B



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Línea de 4" de Diámetro.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
	b. Fugas c. Se suspende bombeo.				c. Programa de mantto. de limpieza de racks. d. Se cuenta con procedimiento operativo para ataque de emergencias.			
III. ¿Qué pasa si hay fuga en la línea y/o accesorios?	a. Incendio y explosión. b. Se suspende bombeo.	4	1	4	a. Programa de revisión visual y calibración de espesores de líneas. b. Red y simulacros de C.I.	20. Continuar cumpliendo con los programas de revisión visual de líneas de calibración y espesores de líneas.	SITSI / Operación / Departamento de C.I.	B



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Area / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Motor Eléctrico.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
I. ¿Qué pasa si hay un alto o bajo voltaje?	a. Se quema el embobinado.	2	2	4	a. Cuentan con un módulo de disparo por sobrecarga y corto circuito.	21. Que el voltaje sea siempre el adecuado.	Superintendencia de fuerza.	B
II. ¿Qué pasa si hay una sobrecarga?	a. Se quema el embobinado.	2	2	4	a. Cuentan con un módulo de disparo por sobrecarga y corto circuito.	22. Colocar protección por alta presión en la descarga de la bomba.	Depto. Eléctrico / Instrumentos / SITSI.	B
						23. Que el equipo de relevo este en buenas condiciones de operación.	Mantto. Eléctrico / Mecánico.	B
						24. Reparar el PLC y el panel view.	Depto. Eléctrico / Instrumentos / SITSI.	B



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Motor Eléctrico.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
III. ¿Qué pasa si se dañan los rodamientos?	a. Se puede deflexionar el rotor.	2	3	6	a. Se cuenta con un programa de mantto. predictivo por vibración.	25. Disponer de un stock de refaccionamiento que cumpla con las Normas de Calidad.	Recursos Materiales / Mantto. Eléctrico.	B
	b. Se puede quemar el motor.				b. Se cuenta con un programa de mantto. predictivo por termografía.	26. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación de prácticas de C.I.	Mantto. Eléctrico.	B
	c. Alta temperatura en el motor.							
	d. Alta vibración en el motor.				c. Un programa predictivo y preventivo a equipo dinámico por mantto. mecánico.			



Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Área / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Motor Eléctrico.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
IV. ¿Qué pasa si hay sobrecalentamiento en el motor?	a. Se puede quemar el motor.	2	3	6	a. Se cuenta con un programa de mantto. predictivo por vibración.	27. Disponer de un stock de refaccionamiento que cumpla con las Normas de Calidad.	Recursos Materiales / Mantto. Eléctrico.	B
	b. Se pueden dañar los rodamientos.				b. Se cuenta con un programa de mantto. predictivo por termografía. c. Recorridos periódicos por personal de operación.	28. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación de prácticas de C.I.	Mantto. Eléctrico.	B





Compañía: PEMEX-REFINACIÓN

Proyecto: SIT-006/2001

Area / Proceso: Área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo

Nodo: Descarga de Isobutano de las Bombas P-1206/1207/1208 a Ventas

Diagrama: DW-007, REV. 0. DTI

Subsistema: Motor Eléctrico.

Técnica WHAT IF

What If	Consecuencias	C	F	GR	Protecciones	Recomendaciones	Responsable	Prioridad
V. ¿Qué pasa si hay alta vibración en el motor eléctrico?	a. Se pueden dañar los rodamientos.	2	3	6	a. Se cuenta con un programa de mantto. predictivo por vibración. b. Se cuenta con recorridos periódicos por personal de operación.	29. Continuar cumpliendo con los programas de mantto. predictivo de vibración.	Operación / Mantto. Eléctrico.	B



### 3.4 DESARROLLO DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

#### DESCRIPCIÓN:

Ocurre fuga en la línea de descarga de alguna de las bombas, las cuales bombean Isobutano de los tanques esféricos TE-1101 A/B, hacia ventas y consecuentemente se produce una nube no confinada e incendio y/o explosión al tener contacto con una fuente de ignición.

#### METODOLOGÍA:

Desde el punto de vista de Análisis de Riesgos, la evaluación de consecuencias de incendio y/o explosiones requiere del conocimiento de datos que definen el escenario en el cual ocurre el evento, así como saber cuanto material dentro de los límites de inflamabilidad existe en una fuga en el momento del accidente.

Los integrantes del equipo multidisciplinario deben de tener una formación que les permita:

1. Conocer las características de la sustancia que se analiza, principalmente en cuanto a su capacidad de incendio y/o explosión.
2. Estimar las consecuencias de un incendio en un escenario determinado.
3. Proponer procedimientos para reducir el riesgo de incendio, o en su caso, mitigar sus efectos.

La evaluación de las posibles consecuencias del accidente se hizo utilizando el programa Phast.



## Definición de Datos

### Material

Material identificado	ISOBUTANO
Tipo de sustancia	Líquida
Especificación de Presión	Presión Especifica
Presión (barométrica)	7.848 bar
Temperatura	32 C
Inventario del Material	1.066E4 kg

### Escenario

Tipo de evento	Fuga
Fase	Líquida
Diámetro del orificio	12.7 mm
Condición del dike	No tiene dike

### Interna / Externa

Dirección externa de alivio	Horizontal
-----------------------------	------------

### Flamable

Método a usar por explosión	TNT
Método Jet Fire (Chorro de Fuego)	Incendio

### Parámetros

Relación de altura de la línea	0.5 m
--------------------------------	-------

### Dispersión

Localización del punto de ignición	No localizado
Inventario del material a dispersar	1.066E4 kg

### Cantidades Calculadas:

#### Valores Promedio

Fracción del líquido	0.74 fracción
Temperatura final	-11.89 C
Velocidad final	136.13 m/s
Diámetro de gota	0.01 mm
Flujo másico	2.22 kg/s
Duración	3'600.00 s
Velocidad del orificio	53.71 m/s
Presión a la salida	1.01 bar
Temperatura a la salida	31.58 C
Coefficiente	0.60
Expansión del radio	0.02 m



## 1. MODELO DE JET FIRE.

Este modelo nos representa la forma de las elipses que toma la radiación del isobutano al provocarse la fuga, así como el alcance y área que puede cubrir, dado por un diámetro del orificio de  $\frac{1}{2}$ " con un tiempo de duración del dardo de fuego de 18.75 seg. (Ver Tabla 3.13). Las elipses se presentan en la gráfica por radiación.

Tabla 3.13 Resultados Obtenidos por Jet Fire.

Nivel de radiación (kW/m <sup>2</sup> )	Distancia a favor del viento (m)	Distancia a través del viento (m)	Diámetro del orificio (m)	tiempo de duración del dardo de fuego (seg.)
4	59.5711	26	$\frac{1}{2}$	18.75
12.5	50.8913	10.5	$\frac{1}{2}$	18.75
37.5	41.4985	6.5	$\frac{1}{2}$	18.75

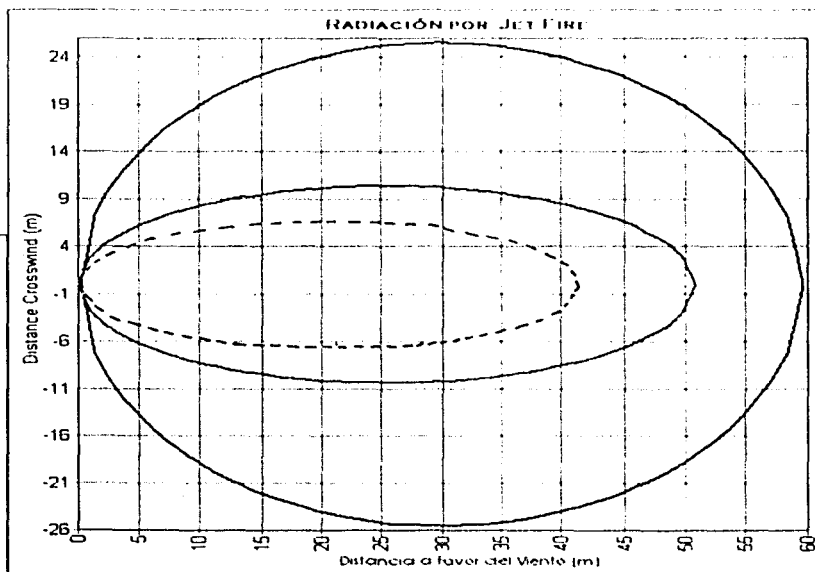
## ISOBUTANO

REPRESENTANDO RADIACIÓN POR JET FIRE (CHORRO DE FUEGO)

GRAFICANDO DISTANCIA A FAVOR DEL VIENTO (M) VS DISTANCIA CRUZANDO EL VIENTO (M)

— Ellipse @ 4 kW/m<sup>2</sup>  
 — Ellipse @ 12.5 kW/m<sup>2</sup>  
 - - - Ellipse @ 37.5 kW/m<sup>2</sup>

ELIPSES REPRESENTATIVAS DE RADIACIÓN TÉRMICA POR METRO CUADRADO





## 2. Modelo de la Nube Explosiva.

Este modelo nos representa la forma que toma el isobutano (una nube gaseosa) en la atmósfera, así como el alcance y área que puede cubrir (en cualquier parte de esta área se puede encontrar una fuente de ignición), dado por un diámetro del orificio de  $\frac{1}{2}$ " con un tiempo de duración del dardo de fuego de 18.75 seg. (Ver Tabla 3.14). La nube se presenta desde dos puntos de vista y estos son:

- A. Vista superior
- B. Vista lateral

Presentamos la tabla que nos resume los datos arrojados para la nube explosiva, así como las gráficas que nos describen este método.

Tabla 3.14 Resultados Obtenidos por Nube Explosiva.

Nivel de concentración (ppm)	Distancia a favor del viento (m)	Altura de la nube (m)	Diámetro del orificio (in)	Duración del dardo de fuego (Seg.)
9000	75.7895	1.82	$\frac{1}{2}$	18.75
18000	27.2524	1.35	$\frac{1}{2}$	18.75
84000	5.3249	0.65	$\frac{1}{2}$	18.75



## A. Vista Superior de la Nube.

ISOBUTANO

NUBE EXPLOSIVA

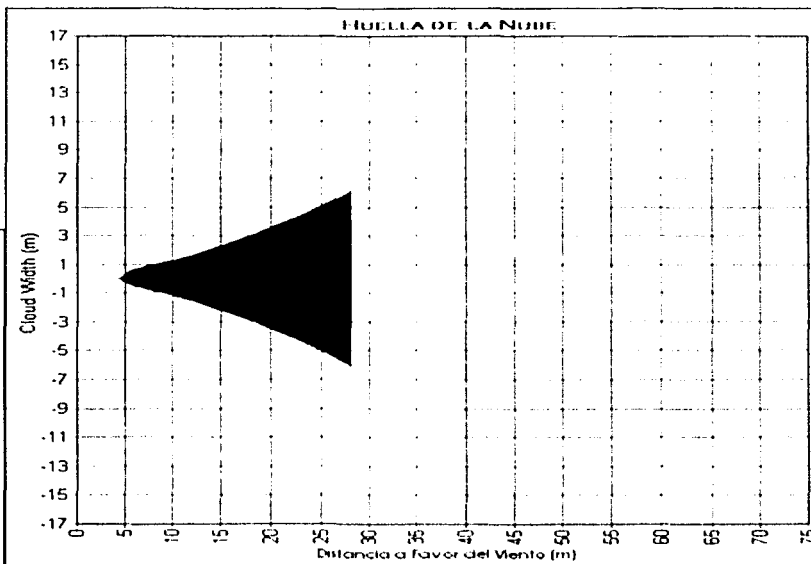
VISTA SUPERIOR DE LA NUBE

TIEMPO PROMEDIO  
FLAMABLE (18 75 G)DISTANCIA (M) V6 ANCHO DE  
LA NUBE (M)

GRAFICA AL TIEMPO 5 662 G

■ 134 m<sup>2</sup> @ 9000 ppm  
 ■ 52 m<sup>2</sup> @ 1 8E4 ppm

CONCENTRACIONES  
 REPRESENTATIVAS POR  
 AREA DE AFECTACIÓN



## B. Vista Lateral de la Nube.

ISOBUTANO

NUBE EXPLOSIVA

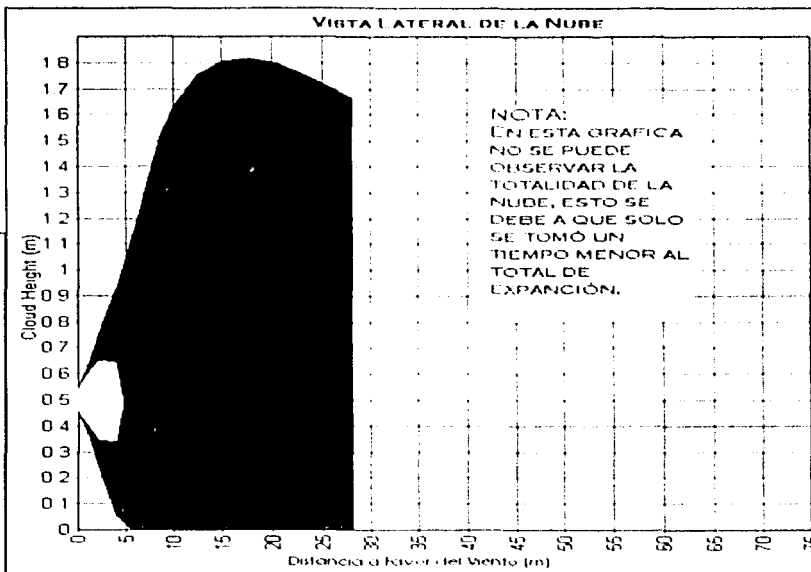
VISTA LATERAL DE LA NUBE

TIEMPO PROMEDIO  
FLAMABLE (18 75 G)ALTURA DE LA NUBE (M) V6  
DISTANCIA (M)

GRAFICA AL TIEMPO 5 662 G

■ 9000 ppm  
 ■ 1 8E4 ppm  
 ■ 8 4E4 ppm

CONCENTRACIONES  
 REPRESENTATIVAS EN EL  
 ÁREA DE AFECTACIÓN





### 3. Explosión por Sobrepresión.

Todas las distancias se miden a partir del punto de ignición, el cual se considera el centro de la explosión, formando ondas circulares de diferente sobrepresión dependiendo de la distancia de la fuente de ignición. El modelo de explosión TNT es el que se aplica a este análisis.

Presentamos la tabla que nos resume los datos (Ver Tabla 3.15) arrojados por los niveles de sobrepresión, así como la gráfica que nos describe este método.

Tabla 3.15 Resultados Obtenidos de la Explosión por Sobrepresión.

	Sobrepresión 0.02063 bar	Sobrepresión 0.1379 bar	Sobrepresión 0.2048 bar
Máxima distancia (m)	118.654	82.5976	79.7478
Masa de combustible abastecido (kg)	3.24431	3.24431	3.24431
Masa de combustible usada (kg)	3.24431	3.24431	3.24431
Radio de sobrepresión (m)	48.6537	12.5976	9.74777
Las distancias a:			
La fuente de ignición (m)	70	70	70
Centro de la nube (m)	70	70	70
Centro de la explosión (m)	70	70	70



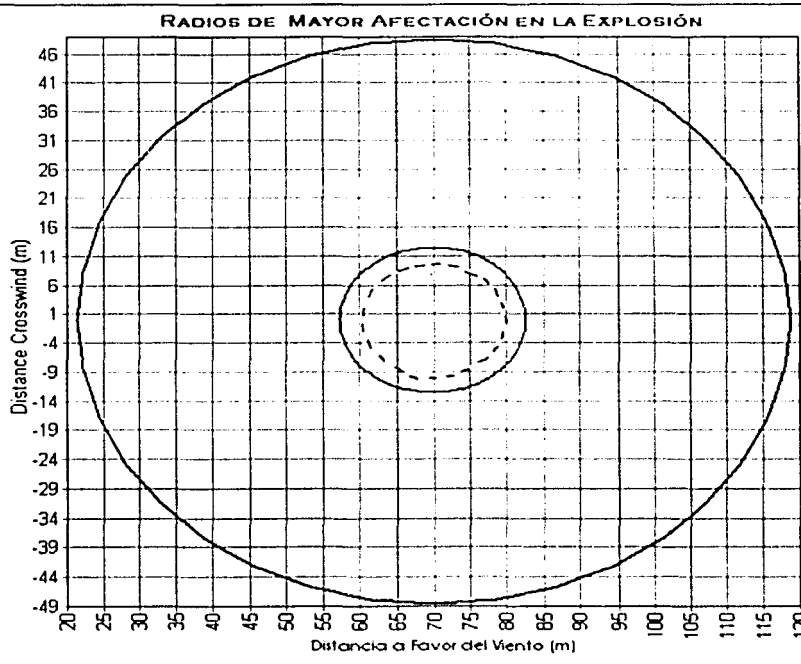
## ISOBUTANO

REPRESENTANDO  
PEORES CASOS POR  
SOBREPRESIÓN.

GRAFICANDO:  
DISTANCIA A FAVOR DEL  
VIENTO (M) VS DISTANCIA  
CRUZANDO EL VIENTO (M).

— Worst Case @ 0.02068 bar  
— Worst Case @ 0.1379 bar  
- - - Worst Case @ 0.2068 bar

PEORES CASOS POR  
SOBREPRESIÓN



El resultado de todos estos modelos depende principalmente del tamaño del orificio de la fuga. En este trabajo se realizó el análisis suponiendo un orificio de  $\frac{1}{2}$  pulgada de diámetro.

En este escenario se consideró que puede presentarse una ruptura en la línea de isobutano, en el tramo de la descarga de la bomba P-1206/1207/1208 hasta la Terminal de Almacenamiento y Distribución (Ventas), debido a la sobrepresión que se produciría por una mala alineación o por la falla de la resistencia mecánica de la línea a la presión de operación, esto produciría la formación de una nube de gas explosiva no confinada con su consecuente incendio y/o explosión.





# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



## **CAPÍTULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS. RIESGOS “HAZOP Y WHAT IF”.**

El área de Almacenamiento de Gas Licuado de Petróleo cuenta con los equipos de seguridad para evitar o mitigar de manera eficaz todo tipo de accidentes. Sin embargo, es importante mejorar continuamente su seguridad, y es debido a esto, que se realizó un Análisis de Riesgos y Operabilidad empleando en este caso dos técnicas "HazOp y What If" en este nodo, perteneciente al circuito de Isobutano, por medio de los cuales se detectaron áreas en las cuales se puede mejorar la seguridad de toda la Refinería en general.

El área de almacenamiento de gas L P abarca un total de 27 tanques esféricos, que se encuentran ubicados en cinco islas distintas, además de bombas con sus respectivos relevos ubicadas en tres casas de bombas diferentes.



#### 4.1.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD "HAZOP".

Gracias a este análisis se obtuvo una lista de 16 recomendaciones (para el Área de Almacenamiento de Gas LP) que se deben de llevar a cabo para mantener y mejorar la seguridad de la Refinería, en la Tabla 4.1, se presenta una lista jerárquica de las recomendaciones obtenidas mediante el uso de esta técnica.

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
ALTA PRESIÓN:		
<p>I. Se encuentra bloqueado el recibo en TAD (ventas).</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dejar operable el PLC y panel view de la Casa Central de Bombas.</li> <li>2. Reubicar el panel view al cuarto de control de operadores de la CCB.</li> <li>3. Seguir cumpliendo con los programas de mantto. preventivo (limpieza, inspección y calibración de racks, alarmas y disparos).</li> <li>4. Realizar estudios para determinar la colocación de una línea recirculante por alta presión, así como una PSV.</li> <li>5. Dejar operable en automático el sistema de espreas de la CCB.</li> </ol>	<p>BAJA</p>



Cont. . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
BAJA PRESIÓN:		
I. Fuga en línea y / o accesorios de descarga.	<p>6. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo.</p> <p>7. Seguir cumpliendo con los programas de mantto. preventivo como (limpieza, inspección y calibración de racks, alarmas y disparos).</p> <p>8. Mantener operable el PLC y el panel view de la CCB.</p> <p>9. Reubicar el panel view al cuarto de control de operadores de la CCB.</p> <p>10. Dejar operable en automático el sistema de espreas de la CCB.</p>	MEDIA
II. Falla del equipo dinámico, fuga por sellos de la bomba.	<p>11. Seguir cumpliendo con el programa de mantto. preventivo.</p> <p>12. Instalar detectores de gas.</p>	MEDIA



Cont. . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
MENOS FLUJO:		
I. Fuga de hidrocarburo en la línea y/o accesorios.	13. Seguir cumpliendo con el mantto. preventivo de equipo dinámico.	BAJA
II. Falla del equipo dinámico, fuga por sellos.	14. Seguir cumpliendo con el mantto. preventivo de equipo dinámico.  15. Mantener operable el PLC y el panel view de la CCB.	MEDIA
ALTA TEMPERATURA:		
II. Incendio en el alrededor.	16. Continuar cumpliendo con simulacros contra incendio.  17. Continuar con las plantas y practicas C.I. a todo el personal de la refinería.  18. Habilitar la escuela de entrenamiento y adiestramiento de C.I.	MEDIA

Tabla 4.1, Lista Jerárquica de Recomendaciones, Técnica HazOp

Como ya se había mencionado, las recomendaciones se jerarquizaron de acuerdo a su nivel de riesgo, es decir, del tipo A, B,



Como ya se había mencionado, las recomendaciones se jerarquizaron de acuerdo a su nivel de riesgo, es decir, del tipo A, B, C o D, las cuáles se refieren al nivel de importancia en la implementación de las mejoras.

**(CLASE A).** Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: **INACEPTABLE.**

**(CLASE B).** Prioridad MEDIA, Acción: Evaluar por B/C;

Riesgo: **INDESEABLE.**

**(CLASE C).** Prioridad BAJA, Acción correctiva con controles;

Riesgo: **ACEPTABLE CON CONTROLES.**

**(CLASE D).** Prioridad BAJA; Riesgo: **ACEPTABLE COMO ESTA.**

De lo anterior se puede mencionar que de tipo A (Prioridad Alta) no se obtuvo ningún tipo de recomendación; del tipo B (Prioridad Media) se obtuvieron 10 recomendaciones, de las cuáles se destacan: habilitar la escuela de entrenamiento y adiestramiento de Contra Incendio, así como, Instalar detectores de gas; las del tipo C (Prioridad Baja) se detectaron 6 recomendaciones, entre las cuáles se tienen las de dejar operable en automático el sistema de espreas de la Casa Central de Bombas, al igual como seguir cumpliendo con los mantenimientos preventivos que se requieran en el área; en las de tipo D (Prioridad Baja, aceptable como esta) no se encontró ninguna recomendación.



### 4.1.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS "WHAT IF".

Gracias a este análisis se obtuvo una lista de 19 recomendaciones (para el Área de Almacenamiento de Gas LP) que se deben de llevar a cabo para mantener y mejorar la seguridad de la Refinería, en la Tabla 4.2, se presenta una lista jerárquica de las recomendaciones obtenidas mediante el uso de ésta técnica.

Tabla 4.2, Lista Jerárquica de Recomendaciones, Técnica What If.

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
Bombas Centrifugas P-1206/1207/1208:		
I. ¿Qué pasa si esta bloqueada la descarga en algún punto de la línea al iniciar la operación de la bomba?	1. Rehabilitar la protección por alta presión en la descarga.  2. Realizar estudios de factibilidad para colocar una PSV y una PCV (línea de recirculación).	B



Cont. . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
II. ¿Qué pasa si hay fuga en los sellos de la bomba?	<p>3. Que personal de llenaderas siga cumpliendo con el procedimiento de llenado de autotanques.</p> <p>4. Aplicar procedimiento operativo en caso de fuga en bombas.</p> <p>5. Automatizar el sistema de espreas de C.I.</p> <p>6. Colocar detectores de explosividad de gases.</p> <p>7. Agilizar los trámites para la adquisición del refaccionamiento original.</p>	C
III. ¿Qué pasa si hay alta temperatura en caja de baleros?	<p>8. Seguir cumpliendo con el mantto. predictivo y preventivo a equipo dinámico.</p> <p>9. Seguir cumpliendo con el recorrido periódico por personal de operación.</p>	B





Cont . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
IV. ¿ Qué pasa si hay alta vibración en la bomba?	10. Seguir cumpliendo con el mantto. predictivo y preventivo a equipo dinámico.	B
V. ¿ Qué pasa si se daña el acoplamiento motor-bomba?	11. Seguir cumpliendo con el programa de mantto. preventivo a equipo dinámico.  12. Agilizar los tramites para la adquisición del refaccionamiento original para contar con ellos en tiempo y forma.	B
VI. ¿ Qué pasa si no hay lubricación en la caja de baleros?	13. Seguir cumpliendo con el recorrido periódico por personal de operación.  14. Seguir cumpliendo con el programa de mantto. preventivo a equipo dinámico.  15. Mantener los contratos de servicio para que los sistemas de lubricación por niebla sean instalados en la refinería por compañías externas.	B



Cont . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
VII. ¿ Qué pasa si hay cavitación en la bomba por falta de flujo?	16. Reparar el PLC y panel view dañados.  17. Seguir cumpliendo con el recorrido periódico por personal de operación.	B
Línea de 4" de Diámetro:		
I. ¿ Qué pasa si hay fuego en los alrededores de la línea?	18. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación de C.I.	C
II. ¿ Qué pasa si hay alta corrosión en la línea?	19. Seguir cumpliendo con los programas de revisión visual de líneas, de calibración de espesores y mantenimiento de limpieza de racks.	B
III. ¿ Qué pasa si hay fuga en la línea y/o accesorios?	20. Continuar cumpliendo con los programas de revisión visual de líneas, de calibración de espesores de líneas.	B



Cont. . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
Motor Eléctrico:		
I. ¿ Qué pasa si hay un alto o bajo voltaje?	21. Que el voltaje sea siempre el adecuado.	B
II. ¿ Qué pasa si hay una sobrecarga?	22. Colocar protección por alta presión en la descarga de la bomba.  23. Que el equipo de relevo esté en buenas condiciones de operación.  24. Reparar el PLC y el panel view.	B
III. ¿ Qué pasa si se dañan los rodamientos?	25. Disponer de un stock de refaccionamiento que cumpla con las Normas de Calidad.  26. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación de practicas de C.I.	B



Cont. . . .

CAUSAS	RECOMENDACIONES	GRADO DE RIESGO
IV. ¿ Qué pasa si hay sobre-calentamiento en el motor?	27. Disponer de un stock de refaccionamiento que cumpla con las Normas de Calidad.  28. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación de prácticas de C.I.	B
V. ¿ Qué pasa si hay alta vibración en el motor eléctrico?	29. Continuar cumpliendo con los programas de mantto. predictivo de vibración.	B

Como ya se había mencionado, las recomendaciones se jerarquizaron de acuerdo a su nivel de riesgo, es decir, del tipo A, B o C, las cuáles se refieren al nivel de importancia en la implementación de las mejoras.

**(CLASE A).** Prioridad ALTA, Acción INMEDIATA; Riesgo: **INACEPTABLE.**

**(CLASE B).** Prioridad MEDIA, Acción a Evaluar por B/C;

Riesgo: **INDESEABLE.**

**(CLASE C).** Prioridad BAJA, Acción Correctiva con Controles;

Riesgo: **ACEPTABLE CON CONTROLES.**



De lo anterior se puede mencionar que de tipo A (Prioridad Alta) no se obtuvo ningún tipo de recomendación; del tipo B (Prioridad Media) se obtuvieron 13 recomendaciones, de las cuáles se destacan: Disponer de un stock de refaccionamiento que cumpla con las Normas de Calidad, así como continuar cumpliendo con los programas de mantenimiento predictivo; del tipo C (Prioridad Baja) se detectaron 6 recomendaciones, entre las cuales destacan el Colocar detectores de explosividad de gases, al igual que continuar cumpliendo con los programas de capacitación al personal de C.I.

En los análisis de riesgos realizados en éste nodo del circuito de isobutano, se puede confirmar la veracidad de la técnica HazOp, así como de la técnica What If. Una manera para distinguir las técnicas creo que será mediante cuadros comparativos, como es el presentado para el número de recomendaciones del análisis ver *Tabla 4.3*.

*Tabla 4.3 Número de Recomendaciones del Análisis de Riesgos.*

	Recomendaciones Análisis de Riesgos "HazOp"	Recomendaciones Análisis de Riesgos "What If"
Riesgo inaceptable prioridad "A"	Ninguna	Ninguna
Riesgo indeseable prioridad "B"	10	13
Riesgo aceptable con controles prioridad "C"	06	06
Riesgo aceptable como esta prioridad "D"	Ninguna	No cuenta con la matriz



Otro punto muy importante es que del Análisis HazOp, se estableció un plan de trabajo, el cuál servirá para darle seguimiento a las recomendaciones hechas por el equipo multidisciplinario. Este plan de trabajo fue elaborado entre el personal del área que participó en el análisis y personal de la UNAM quienes coordinaron el estudio, con el fin de mejorar, aún más la seguridad del Área de Almacenamiento y Manejo de Gas L.P.

#### **4.1.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**

Los resultados obtenidos en el análisis de consecuencias para el escenario supuesto de explosión, Jet Fire, explosión por sobrepresión y formación de nube no confinada provocados por la fuga en la línea de descarga de las bombas centrífugas P-1206/1207/1208 a ventas, se dan a conocer las distancias de riesgos como de seguridad tanto a equipos como a personal interno o externo de la refinería, en este caso para la fuga de ½" de diámetro. Con base a estos resultados se realizaron las siguientes recomendaciones:

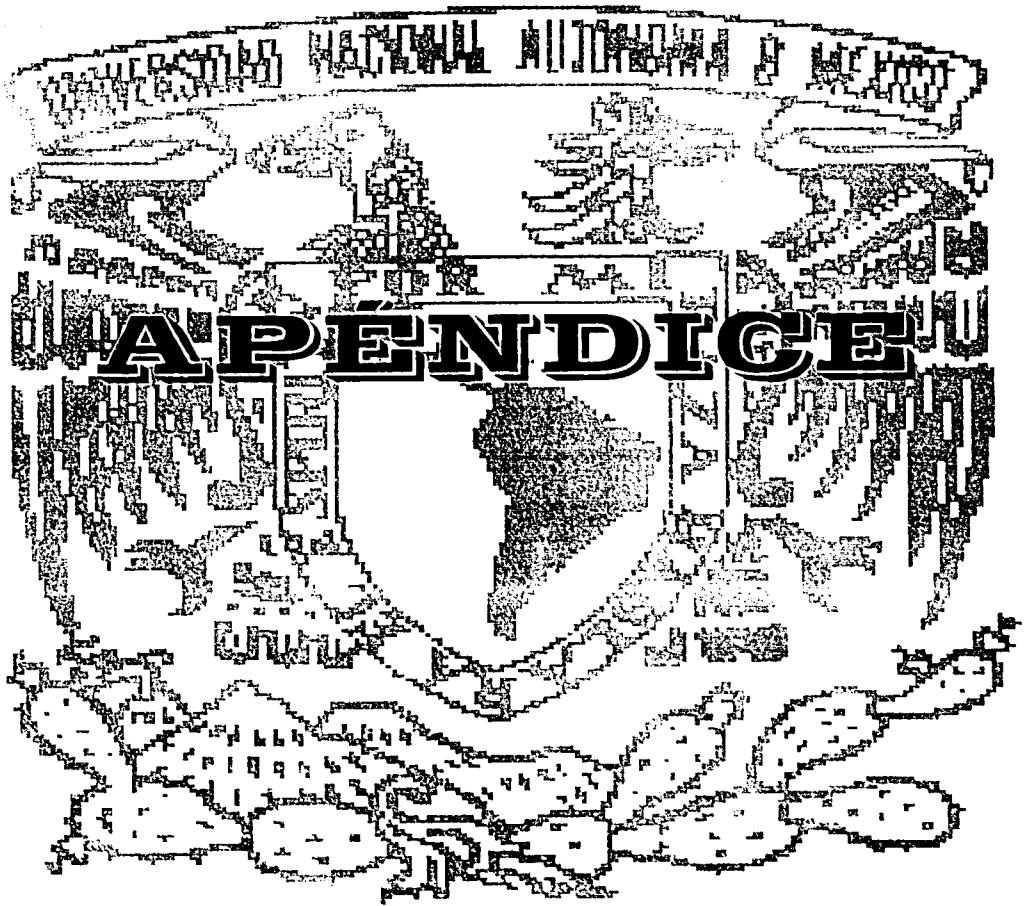
1. Se recomienda la elaboración de planes de emergencia.
2. Se recomienda la elaboración de planes de evacuación.
3. Se recomienda que las rutas de evacuación cumplan con las normas o reglamento de construcción dentro de la refinería.
4. Se recomienda que la señalización sea remarcada para que se tenga un mejor control en general.
5. Instalación de más detectores de mezclas explosivas.



6. Proveerse de sistemas de protección activos tales como agua y espuma de contra incendio, que reduzca los tamaños de nubes tóxicas e inflamables.

El análisis de consecuencias proporcionó información para disminuir la magnitud de los efectos, en caso de que el accidente seleccionado para este tipo de análisis se convierta en un evento indeseable con cuantiosas pérdidas materiales y humanas, esta información es utilizada para la elaboración de planes de emergencia y de evacuación además de establecer las zonas de seguridad.

Por último y algo muy importante, que siempre debemos de tener en consideración, es que no siempre se puede evitar el accidente, más sin embargo si se puede mitigar o controlar los daños a personas, instalaciones y al medio ambiente. Por ello es tan importante la elaboración de este tipo de análisis de riesgos.







# APÉNDICE

## APÉNDICE "A"

Tipo de Material Involucrado en Incendios Industriales	% del Número de Casos
<b>A. INDUSTRIAS EN GENERAL</b>	
MATERIAL	[%]
Madera o papel	27.9
Líquidos inflamables o combustibles	22.1
Materias químicas, metales o plásticos	15.7
Textiles	10.3
Productos naturales	9.6
Gas	6.4
Sólidos volátiles	5.4
Materiales con aceite	2.2
Otros tipos indeterminados o no informados	0.4
<b>B. INDUSTRIA QUÍMICA</b>	
✓ Según el Estado Físico	
Gas	13
Vapor	20
Líquido	25
Sólido	29
Desconocido	13
✓ Según el Tipo de Material	
HIDROCARBUROS: 29.5	
Gas	4
Líquido/vapor	23
Sólido	2.5
OTROS PRODUCTOS: 70.5	
Líquido/vapor orgánico	20
Sólidos celulósicos y orgánicos	8 y 9
Hidrógeno	9
Acero	2.5
Azufre y Desconocido	1 y 21



## APÉNDICE "B"

## Daños Estimados por Sobrepresión de una Explosión.

EQUIPO	SOPREPRESIÓN																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Cuarto control techo de acero	A	C	D																	
Cuarto control techo concreto	A	E	P	D																
Torre de enfriamiento	B			F																
Tanque techo cónico		D																		U
Cuarto de instrumentos			A				IM													T
Calentador				G		I														T
Reactor químico				A																P
Filtro				H																T
Regenerador																				P
Tanque techo flotante																				U
Reactor de craqueo																				I
Soporte de tubería																				SO
Utilidades; Medidor de gases																				O
Transformador eléctrico																				H
Motor eléctrico																				H
Soplador																				O
Columna fraccionadora																				P
Tanque horizontal presurizado																				P
Regulador de gas																				I
Columna de extracción																				I
Turbina de vapor																				I
Intercambiador de calor																				T
Tanque esférico																				I
Tanque vertical presurizado																				I
Bomba																				I

## Significado de Todas y Cada una de las Letras:

A. Ruptura de ventanas.

B. Fallan persianas a 0.3-0.5 psi.

C. Los interruptores de los techos son dañados.

D. Colapso de techos.

E. Los instrumentos sufren daño.

F. Las partes interiores sufren daño.

G. Ruptura de ladrillos.

H. Daños por fragmentos.

I. Ruptura de líneas y unidades móviles.

J. Fallan abrazaderas.

K. Las unidades se levantan (medio llenas)

L. Las líneas de energía son dañadas.

M. Los controles sufren daño.

N. Fallan muros de bloques.

O. Colapso de estructuras.

P. Deformación de estructuras.

Q. Las cubiertas son dañadas.

R. Ruptura de estructuras

S. Ruptura de tubería.

T. Derrumbamiento de unidades.

U. Las unidades se levantan (90%) llenas.

V. Las unidades se levantan desde sus cimientos.



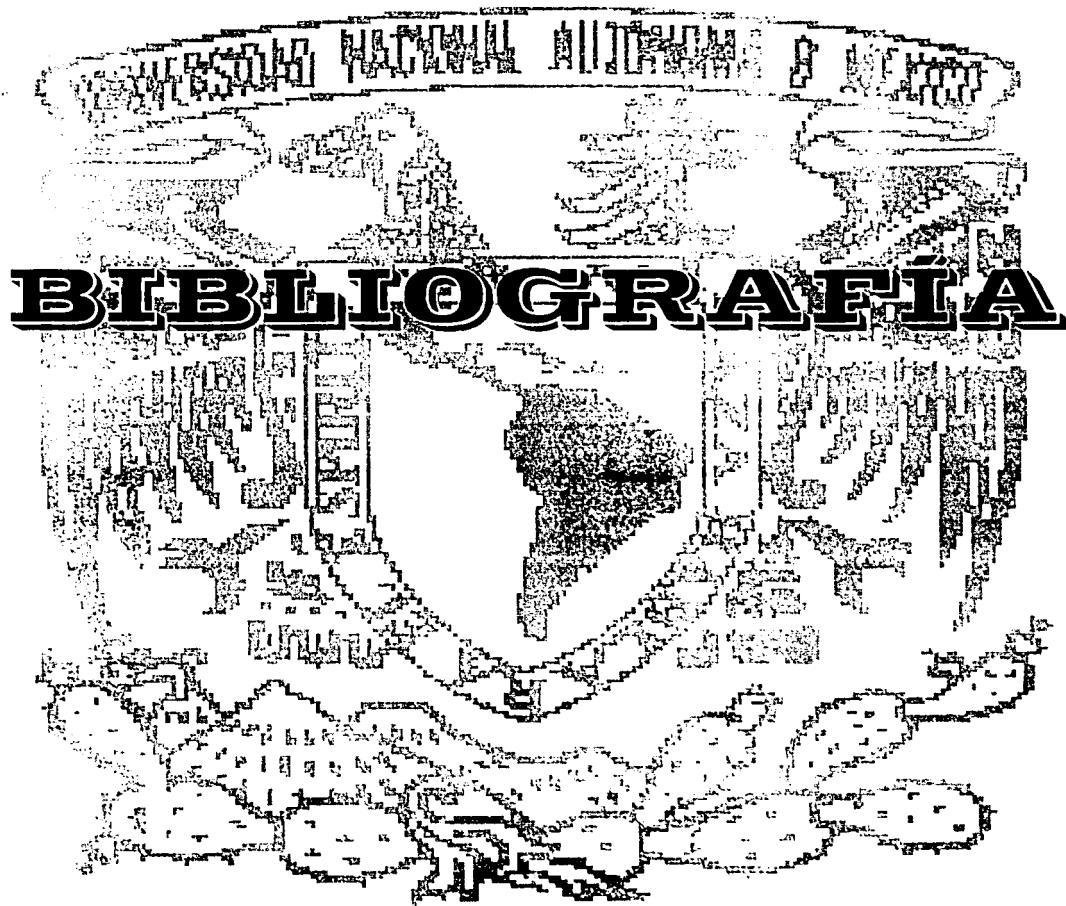


## GLOSARIO

1. **Análisis de Riesgos:** Es una evaluación de la ingeniería del proceso que permite realizar estimaciones de consecuencias de accidentes. Los resultados pueden ser utilizados para la toma de decisiones (gerencial o administración de riesgos).
2. **Administración de Riesgos:** Es el sistema que involucra los principios de la administración, aplicada a los riesgos para eliminarlos, reducirlos o controlarlos.
3. **Análisis Costo-Beneficio:** Actividades de la administración, estudio económico de riesgos que permite tomar decisiones de aceptar o no el riesgo, lo podremos encontrar abreviado como C/B o B/C.
4. **Dispositivo de Seguridad:** Mecanismo o sistema que se instala a la maquinaria, equipo o instalaciones, con la finalidad de reducir la posibilidad de riesgo o controlar las consecuencias en caso de que ocurra un accidente.
5. **Dique:** Muro hecho para contener las aguas u otros materiales líquidos.
6. **Equipo Crítico:** Maquinaria, equipo e instalaciones en los que fallan los dispositivos de seguridad, integridad mecánica o maniobras durante la operación de los mismos para ocasionar un accidente.
7. **Mantenimiento Preventivo:** Medida de ingeniería que se aplica bajo un programa preestablecido para prevenir y reducir el riesgo de fallo del equipo crítico.
8. **Mantenimiento Correctivo:** Es una medida de ingeniería que se desarrolla para resolver un problema de operación recurrente en el equipo crítico.
9. **Higiene Industrial:** Especialidad para determinar los factores del ambiente que pueden afectar la salud del trabajador.
10. **Accidente:** Es un evento o combinación de eventos no deseados e inesperados, instantáneos o no, que tienen consecuencias tales como lesiones o enfermedad al personal, daños a terceros en sus bienes o en sus personas, daños al medio ambiente, daños a las instalaciones o alteración a la actividad normal de proceso.



11. **Accidente Menor:** Es un acontecimiento no deseado que provoca daños leves a las personas, siendo necesaria la aplicación de primeros auxilios para que se incorporen nuevamente a sus actividades normales.
12. **Accidente Mayor:** Cualquier suceso tal como una emisión, fuga, incendio o explosión.
13. **Punto de Autoignición:** Mínima temperatura requerida para iniciar o causar una combustión de cualquier sustancia en ausencia de chispa o llama.
14. **Sustancia Inflamable:** Es aquella que es capaz de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales para prenderse espontáneamente o por la acción de una chispa.
15. **Sustancia Explosiva:** Es aquella que en forma espontánea o por acción de alguna forma de energía genera una gran cantidad de calor y energía de presión en forma casi instantánea.
16. **Condición Insegura:** Todas las condiciones inseguras son causadas por actos humanos. Es la condición en el ambiente de trabajo que propicia el accidente.
17. **Peligro:** Es cualquier condición física o química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad.
18. **Riesgo:** Es una medida de la probabilidad del suceso y severidad de daño a la salud humana y propiedades.





# BIBLIOGRAFÍA

1. Santamaría Ramiro, J.M. y Breña Aísa, P.A., *Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química*, Fundación MAPFRE (1994).
2. Douglas M. Considine, *Tecnología del Petróleo*, Edit. Marcombo, S.A., Vol. 2, (1977). Clasif. TN870.5/T4318
3. George T. Austin, *Manual de Procesos Químicos en la Industria*, Tomo 3, Edit. Mc Graw-Hill, México (1988). Clasif. TP145/S518
4. J. V. Grimaldi, *La Seguridad Industrial su Administración*, Edit. Alfaomega, Ed. 2, (1991). Clasif. T55/G7518
5. William Handley, *Manual de Seguridad industrial*, Edit. McGraw Hill, México (1980). Clasif. T55/H342
6. PEMEX, *Boletín SIASPA*, Año 3, Número 3, Diciembre 2001.
7. Consejo de Recursos Minerales, *Monografía Geológico-Minera del Estado de Veracruz*, Secretaria de Energía, Minas e Industrias Paraestatal.
8. *Taller de Análisis de Riesgos y Operabilidad HazOp*, Universidad Nacional Autónoma de México Facultad de Química Depto. de Ing. Química, Lab. 212 de Petroquímica y Polímeros, México (1999).



9. Leonard Arthur, Haddock, Analysis In the Chemical Industry, (1968).  
Clasificación TP187/H32
10. Gary A. James, Handwerk, E. Glenn, "Petroleum Refining" Technology and Economics, Third Edition, USA (1994).  
Clasificación TP690/G36
11. González L. C. "Análisis de Riesgos y Operabilidad en la Torre Fraccionadora y Circuito de Gasolina Amarga de la Planta Catalítica 1, FCC-1" Tesis de Licenciatura, Fac. de Química, UNAM, México (2000).
12. Camacho S. E., Pérez R. M., "Análisis de Riesgos Aplicado a una Área de Almacenamiento de Gas L.P. Utilizando las Técnicas HazOp, Análisis de Consecuencias y Análisis de Árbol de Fallas" Tesis de Licenciatura, Fac. de Química, UNAM, México (2000).
13. Federal Emergency Management Agency, Manual of Automated Resource for Chemical Hazards Incident Evaluation (ARCHIE), U.S. 1986.