

00521
87



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“ANÁLISIS DE RIESGOS EN DOS TANQUES
ESFÉRICOS PARA ALMACENAMIENTO
DE PROPILENO.”

T E S I S M A N C O M U N A D A
Q U E P A R A O B T E N E R E L T Í T U L O D E
I N G E N I E R O Q U Í M I C O
P R E S E N T A N :
M A R T Í N E Z G O N Z Á L E Z \ C L A U D I A L I L I A
M A R T Í N E Z H E R N Á N D E Z É D G A R



MÉXICO, D. F.

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

2003

A



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION

DISCONTINUA



JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE	PROF. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ
VOCAL	PROF. MARÍA EUGENIA BAZ IBARRA
SECRETARIO	PROF. MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ
1ER. SUPLENTE	PROF. NÉSTOR NOÉ LÓPEZ CASTILLO
2DO. SUPLENTE	PROF. BALDOMERO PÉREZ GABRIEL

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

**LABORATORIO 212, EDIFICIO "E"
FACULTAD DE QUIMICA. UNAM**

**NOMBRE COMPLETO Y FIRMA
DEL ASESOR DEL TEMA:**



DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ

**NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL
SUPERVISOR TÉCNICO:**



**IQ. PAOLA AMAYRANI
QUINTERO REYES**

**NOMBRE COMPLETO Y FIRMA
DE LA SUSTENTANTE:**



**CLAUDIA LILIA MARTÍNEZ
GONZÁLEZ**

**NOMBRE COMPLETO Y FIRMA DEL
SUSTENTANTE:**



**EDGAR
MARTÍNEZ HERNÁNDEZ**

B

*AGRADECEMOS A DIOS POR
TODOS LOS REGALOS QUE NOS HA DADO:*

Gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México y principalmente a los profesores de la Facultad de Química por habernos formado como profesionistas.

Gracias a PEMEX por darnos la oportunidad de aprender más allá de las aulas de estudio.

Gracias al Dr. Javier Cruz Gómez por creer en nosotros, por el apoyo en la realización de este trabajo y por compartimos granitos de experiencia que nos permiten crecer como profesionales.

Gracias a los Profesores: Maria Eugenia y José Antonio por las gotitas de conocimiento proporcionadas durante la corrección de este trabajo.

Gracias a los ingenieros Paola Q., Ramón G., Jessica D., Daniel S. y Saúl R. por sus comentarios.

Gracias a Nuestros Padres y Hermanos por toda su confianza y esfuerzo realizado para permitirnos llegar a este nivel.

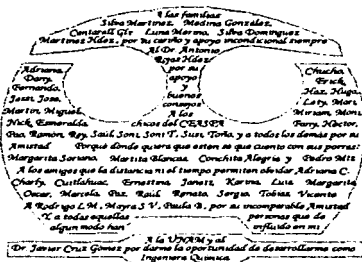
*Claudia Lilia Martínez González
Edgar Martínez Hernández*

C

Dedicado Con Cariño Para:

Mi Mamá Josefina porque soy, de algún modo puedo regalarte con mucho amor algo que siempre añoramos y que, aún así, no compensa todo lo que tú me has brindado: amor, cariño, cuidado, comprensión, esfuerzo y apoyo sincero a cada momento.

Para Eddy con amor porque eres parte importante de mi vida, no sólo porque siempre estás ahí para apoyarme cuando es necesario, también, porque a tu lado aprendí a compartir conocimientos, esfuerzos, recursos y sobretodo nuestro amor.



Para Mari Carmen porque nunca me ha dejado de querer, cuidar y guiarme, para José Luis por querer tanto a mi hermana y a mis preciosos niños. Y porque sé que siempre contare con su apoyo en las buenas y las malas.

Para mis queridos sobrinos: Luis Mario y José Carlos, por hacerme participe de la alegría, inocencia y del cariño sincero que dulcemente conviven a mi vida.

Y para todos aquellos que de una u otra forma han compartido momentos trascendentales de mi vida.

Claudia Lilia Martínez González

DEDICADO A:

Mis Padres Onesimo y Elena, quienes con sus ejemplos de amor, comprensión y esfuerzo ante los retos de la vida, han sabido guiarme.

Mis hermanos Apolinar y Beatriz, con quienes he compartido tantos momentos agradables y quienes no han dejado de pincharme las costillas para seguir adelante.

Mis tíos y primos (que son muchos) por que todo el tiempo creyeron en mí.

Mis abuelitos Apolinar Hernández, Carmen Gutiérrez de Hernández, Lucio Martínez y Agustina Soto de Martínez, que aunque ya no están aquí, son un modelo de dedicación y perseverancia.

La familia Martínez González y Silva Martínez por que siempre me apoyaron.

Claudia Lilia por que ha sido una excelente compañera de trabajo, una buena amiga, pero sobre todo, por ese amor que me brinda siempre y que le ha permitido soportarme durante los últimos siete años.

Todos los que en algún momento de la vida me brindaron su amistad incondicional.

Los ingenieros con los que laboro por que cada uno de ellos me ha compartido de sus conocimientos y experiencias demostrandome su profesionalismo y sentido de compañerismo.

Todos aquellos héroes anónimos que día a día ponen en riesgo su vida para preservar la de los demás.

Edgar Martínez Hernández

E

CONTENIDO.

	Página
CONTENIDO.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	V
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS.....	VIII
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS.....	X

Capítulo I.

INTRODUCCIÓN.

	Página
Objetivos.....	2
Introducción.....	3

Capítulo II.

BASES TEÓRICAS.

	Página
1. ACCIDENTES	
1.1. Revisión Histórica.....	7
1.2. Definición de accidente.....	9
1.3. Secuencia de eventos.....	9
2. GASES.	
2.1. Propiedades y riesgos.....	10
2.2. Modelos ideales.....	10
2.3. Gases inflamables: términos básicos.....	11
3. RIESGOS	
3.1. Concepto.....	13
3.2. Tipos.....	14
4. GRANDES RIESGOS	
4.1. Incendios.....	15
4.2. Explosiones.....	17



4.2.1. Nubes de vapor no confinado (UVCE).....	18
4.2.2. Explosión del vapor de un líquido en ebullición (BLEVE).....	19
4.2.2.1. Definición.....	20
4.2.2.2. Termodinámica.....	29
4.2.2.3. Consecuencias.....	21
5. RECIPIENTES ESFÉRICOS.....	
5.1. Propiedades de los materiales.....	23
5.2. Diseño característico.....	25
5.2.1. Protección por sobrepresión.....	26
5.2.2. Protección por sobrellenado.....	26
5.2.3. Contención de derrames.....	27
5.2.4. Espaciamiento de equipo.....	27
5.2.5. Aislamiento por control remoto.....	28
5.2.6. Protección contra incendios.....	29
5.2.7. Otros sistemas.....	31
6. ANÁLISIS DE RIESGOS.....	
6.1. Definición.....	34
6.2. Criterios de rentabilidad.....	34
6.3. Etapas básicas para un análisis de riesgos.....	35
6.3.1. Preparación.....	35
6.3.2. Ejecución del análisis.....	36
6.3.3. Adopción de medidas.....	37
6.3.4. Seguimiento.....	38
6.3.4. Registro.....	38
6.4. Metodologías.....	38
6.4.1. Análisis Histórico de Accidentes.....	39
6.4.2. Manuales Técnicos Internos.....	40
6.4.3. Códigos y Normas.....	40
6.4.4. Auditorías de Seguridad.....	41
6.4.5. Lista de Comprobación.....	41
6.4.6. Índice Dow y Mond.....	42
6.4.7. ¿Qué Pasa Si ...?.....	43
6.4.8. Análisis de Modos de Fallos y Efectos.....	43
6.4.9. Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).....	44
6.4.10. Árbol de Fallos.....	48
6.4.1.1. Análisis del Árbol de Eventos.....	49
6.4.1.2. Análisis de Error Humano.....	51
6.5. Análisis de Consecuencias.....	52
7. PEMEX HACIA EL FUTURO.....	
7.1. Valores de la empresa.....	55
7.2. Visión.....	56
7.3. Política interna.....	56
7.4. SIASPA.....	57
7.4.1. Elementos del SIASPA.....	58
7.5. Importancia de la información.....	58
7.6. SIDTI.....	59
7.6.1. Origen del SIDTI.....	59
7.6.2. Características del SIDTI.....	60
7.6.3. Procedimiento de Implantación.....	60
7.6.4. Importancia del SIDTI.....	61



B. CULTURA EN PREVENCIÓN DE RIESGOS.

62

Capítulo III.

TRABAJO DE CAMPO.

DESCRIPCIÓN.

Página

1. ANÁLISIS HazOp.

1.1. Personal involucrado.....	67
1.2. Etapas de elaboración.....	67
1.3. Establecimiento de las matrices de riesgo.....	69
1.4. Aplicación de la técnica HazOp a los casos de estudio.....	73
1.4.1. Descripción del Área 6.....	74
1.4.1.2. Descripción del nodo 1: Tanque Esférico TE-402.....	76
1.4.1.3. Hojas de registro del HazOp TE-402.....	80
1.4.2.1. Descripción del Área 4.....	84
1.4.2.2. Descripción del nodo 2: Tanque Esférico TE-18.....	87
1.4.2.3. Hojas de registro del HazOp TE-18.....	89

2. ÁRBOL DE FALLAS.

2.1. Etapas de elaboración para un árbol de fallas.....	97
2.1.1. Construcción del árbol.....	97
2.1.2. Tratamiento cualitativo.....	98
2.1.3. Análisis de resultados.....	100
2.2. Aplicación de la técnica de Árbol de fallas.....	100
2.2.1. Descripción del evento culminante (Una BLEVE).....	100
2.2.2. Descripción del sistema a analizar.....	102
2.2.3. Árboles de Fallas y Conjuntos. Mínimos.....	103
2.2.3. Resultados.....	111

3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

3.1. Procedimiento de cálculo.....	113
3.1.1. Capacidad de diseño del tanque.....	113
3.1.2. Masa total de combustible en el recipiente.....	114
3.1.3. Diámetro de la bola de fuego.....	114
3.1.4. Altura de la bola de fuego.....	114
3.1.5. Duración de la bola de fuego.....	115
3.1.6. Radiación térmica recibida.....	115
3.1.7. Dosis de radiación térmica para personas expuestas.....	118
3.1.8. Efectos de la presión.....	119
3.1.9. Número de fragmentos y alcance máximo.....	120
3.1.10. Distancia virtual y reducida.....	121
3.2. Resultados.....	125

Capítulo IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

1. CONCLUSIONES DEL HazOp.....	138
2. CONCLUSIONES ÁRBOL DE FALLAS.....	142
3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	144

APÉNDICES.

No.	Descripción	Página
A.	Hoja de Seguridad del Propileno.....	150
B.	Válvulas de Seguridad para alivio de presión.....	162
C.	<u>FIGURA 1:</u> Escala Probit para determinar el porcentaje de población dañada.....	165
	<u>FIGURA 2:</u> Alcance Máximo horizontal de fragmentos originados a partir de la explosión de una carga de TNT a nivel del suelo.....	166
	<u>FIGURA 3:</u> Curva de sobrepresión frente a la distancia reducida para la aplicación del modelo TNT.....	167

BIBLIOGRAFÍA.

168

INDICE DE TABLAS.

Capítulo II.

BASES TEÓRICAS.

Tabla No.	Descripción	Página
1	Accidentes ocurridos en el área de almacenamiento de varias refinerías.....	8
2	Ejemplos para cada fase de un accidente.....	9
3	Tipos de incendios de acuerdo al material combustible y medios de extinción.....	16
4	Comentarios sobre los materiales empleados para la fabricación de Tanques.....	24
5	Ubicación de algunos instrumentos en una esfera de Almacenamiento.....	25
6	Estimación del nivel de riesgo a partir de sus consecuencias y probabilidad.....	36
7	Adopción de medidas de acuerdo a su riesgo.....	37
8	Ejemplos de Bancos de Accidentes.....	40
9	Parámetros más usuales al desarrollar la metodología HazOp.....	46
10	Palabras clave empleadas en la metodología HazOp.....	46
11	Simbología empleada en la construcción del árbol de fallas.....	49
12	Parámetros que se deben considerar en un Análisis de Consecuencias.....	54
13	Elementos de los tres componentes que forman la estructura del SIASPA.....	58
14	Relación del SIDTI con los elementos del SIASPA.....	62

Capítulo III.

TRABAJO DE CAMPO.

Tabla No.	Descripción	Página
15	Determinación del índice de riesgo mediante los índices de frecuencia y gravedad.....	70
16	Prioridades para las recomendaciones del estudio a la esfera TE-18.....	70
17	Tabla de índice de frecuencia usada en el HazOp de la esfera TE-402.....	71
18	Tabla de índice de gravedad para las cuatro matrices usadas en el HazOp de la esfera TE-402.....	72
19	Clases de riesgos usados en las cuatro matrices del HazOp del tanque TE-402.....	72
20	Prioridades para las recomendaciones del estudio a la esfera TE-402.....	73

Tabla No.	Descripción	Página
21	Características del equipo de bombeo en la casa No.1 de bombas.....	74
22	Características del equipo de bombeo en la casa de bombas de Gas L.P.....	74
23	Características del equipo de bombeo en la casa central de bombas.....	74
24	Características de las esteras de almacenamiento del Área 6.....	75
25	Características de las esteras de almacenamiento del Área 4.....	84
26	Características del equipo de bombeo en la casa de bombas 4.....	84
27	Características del equipo de bombeo en la casa de bombas 4 A.....	85
28	Frecuencia probable y probabilidad.....	98
29	Equivalencias en álgebra booleana.....	99
30	Lista de verificación para las esteras TE-402 y 18.....	102
31	Eventos básicos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-402".....	103
32	Conjuntos mínimos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-402".....	104
33	Eventos básicos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-18".....	106
34	Conjuntos mínimos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-18".....	106
35	Datos de los sistemas a analizar.....	113
36	Daños producidos por las explosiones en función de las sobrepresiones....	124
37	Máxima radiación tolerable de materiales.....	124
38	Resultados que están en función de la masa contenida en el recipiente...	125
39	Máximo alcance horizontal de los proyectiles generados por la BLEVE en el TE-402.....	125
40	Máximo alcance horizontal de los proyectiles generados por la BLEVE en el TE-18.....	126
41	Daños a las personas por la radiación de una BLEVE en el TE-402.....	133
42	Daños a las personas por la sobrepresión de una BLEVE en el TE- 402.....	134
43	Daños a las personas por la radiación de una BLEVE en el TE-18.....	134
44	Daños a las personas por la sobrepresión de una BLEVE en el TE-18.....	135

Capítulo IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Tabla No.	Descripción	Página
45	Recomendaciones generadas por el HazOp en el TE-402 de acuerdo a su orden jerárquico.....	138
46	Recomendaciones generadas por el HazOp en el TE-18, de acuerdo a su orden jerárquico.....	139

INDICE DE FIGURAS.

Capítulo II.

BASES TEÓRICAS.

Figura No.	Descripción	Página
1	Secuencia de un accidente.....	9
2	Efecto de la presión sobre las paredes de un envase a volumen constante al ser expuesto a altas temperaturas.....	10
3	Triángulo del fuego.....	15
4	Curva de saturación presión-temperatura.....	21
5	Diseño característico para una esfera de almacenamiento presurizada...	26
6	Diagrama beneficio-inversión para justificar las inversiones en pro de la seguridad.....	35
7	Equipo de trabajo para las sesiones HazOp.....	45
8	Diagrama de flujo para la metodología HazOp.....	47
9	Diagrama de flujo para la implantación del SIDTI.....	61

Capítulo III.

TRABAJO DE CAMPO.

Figura No.	Descripción	Página
10	Matriz de índice de riesgo usada en el estudio HazOp de la esfera TE-18...	69
11	Matriz de índice de riesgo manejada durante el estudio HazOp a la esfera TE-402.....	71
12	Matriz de clases de riesgo usada en el HazOp de la esfera TE-402.....	73
13	Cálculo de las distancias "b" y "x".....	116
14	Alcance de la radiación térmica generada por una BLEVE en el TE-402....	127
15	Alcance de la sobrepresión generada por una BLEVE en el TE-402 con capacidad al 90%.....	128
16	Alcance de la sobrepresión generada por una BLEVE en el TE-402 con capacidad al 70%.....	129
17	Alcance de la radiación térmica generada por una BLEVE en el TE-18.....	130
18	Alcance de la sobrepresión generada por una BLEVE en el TE-18 con capacidad al 90%.....	131
19	Alcance de la sobrepresión generada por una BLEVE en el TE-18 con capacidad al 70%.....	132

INDICE DE CUADROS.

Capítulo II.

BASES TEÓRICAS.

Cuadro No.	Descripción	Página
1	Modelos ideales para describir el comportamiento de los gases...	11
2	Tipos de explosiones.....	17
3	Clasificación de algunos tipos de recipientes.....	23
4	Metodologías para la identificación y análisis de riesgos.....	39

INDICE DE DIAGRAMAS.**Capítulo III.****TRABAJO DE CAMPO.**

Diagrama No.	Descripción	Página
1	Área 6: Almacenamiento de Gas L.P.....	78
2	Diagrama de tubería e instrumentación: Almacenamiento y manejo de propileno en el tanque esférico TE-402.....	79
3	Diagrama de localización general de tanques esféricos en el área 4 de Gas L.P.....	86
4	Diagrama de tubería e instrumentación: Almacenamiento y manejo de propileno en el tanque esférico TE-18.....	88
5	Diagrama de árbol de fallos para el evento culminante "BLEVE en el tanque esférico TE-402".....	105
6	Diagrama de árbol de fallos para el evento culminante "BLEVE en el tanque esférico TE-18".....	108
7	Diagrama del árbol de fallos reducido para el evento culminante "BLEVE en el tanque esférico TE-402".....	109
8	Diagrama del árbol de fallos reducido para el evento culminante "BLEVE en el tanque esférico TE-18".....	110

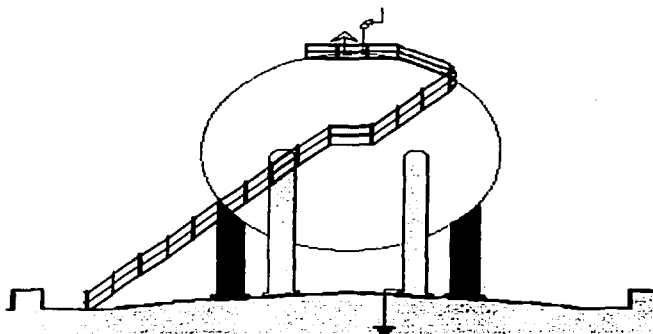
LISTA DE ABREVIATURAS.

AAE	Análisis de Árbol de Eventos (ETA, Event Tree Analysis)
AAF	Análisis de árbol de Fallas. (FTA, Fault Tree Analysis).
AMF.	Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA, Failure Modes and Effects Analysis).
API	Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute).
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (American Society of Mechanical Engineers).
BLEVE	Explosión por la Expansión del Vapor de un Líquido en Ebullición (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).
CAS	Chemical Abstracts Service.
CCPS	Centro para la Seguridad de los Procesos Químicos (Center for Chemical Process Safety).
CPM	Complejo Petroquímico Morelos.
DFP	Diagrama de Flujo de Proceso.
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación.
DOT	Departamento de Transporte (Department Of Transportation).
GAS L. P.	Gas Licuado de Petróleo.
GIDT	Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico.
HAZCHEM CODE	Código de Sustancias Químicas Peligrosas (<i>Hazard Chemical Code</i>).
HAZOP	Análisis de Riesgos y Operabilidad (Hazard and Operability Analysis).
IATA	Agencia Internacional de Transportación Aérea (International Air Transportation Agency).
IDHL	Concentración máxima a la cual existe peligro inmediato a la vida y la salud (Immediately Dangerous to Life and Health).
ICAO	Organización de Aviación Civil Internacional (International Civil Aviation Organization).
IMDG CODE	International Maritime Dangerous Goods Code
MHIDAS	Major Hazard Incident Data Service

Lista de Abreviaturas.

INE	Instituto Nacional de Ecología.
NEC	National Electric Code.
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health
NFPA	Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (National Fire Protection Association).
NOM	Norma Oficial Mexicana.
OSHA	Agencia de Administración de la Salud y la Seguridad Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration).
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
RTECS	Registro de efectos tóxicos de sustancias químicas (Registry of Toxic Effects of Chemicals).
SETIQ	Sistema de Emergencia en Transporte para la Industria Química.
SIASPA	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental
SIDTI	Sistema de Información de los Diagramas Técnicos Inteligentes.
TLV	Valor Umbral Límite (Threshold Limit Value).
TNO	"The Netherlands Organization" for Applied Scientific Research.
UN	Naciones Unidas (United Nations).
UVCE	Explosión por Nube de Vapor No confinada (Unconfined Vapor Cloud Explosion).

Capítulo I



Introducción

OBJETIVOS

1. Identificar las posibles condiciones que pueden provocar daños o consecuencias indeseables en tanques esféricos para almacenamiento de propileno, principalmente las TE-402 y TE-18, mediante la técnica de Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp).

2. Examinar el escenario "BLEVE en el tanque esférico TE-402 y TE-18" auxiliándose de las técnicas de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias.
 - 2.1 Determinar por medio de la técnica de Árbol de Fallas:
 - 2.1.1 Las cadenas de eventos que pueden conducir al escenario.
 - 2.1.2 Los eventos básicos que al darse simultáneamente provocan el accidente.
 - 2.1.3 La probabilidad del evento culminante.

 - 2.2 Estimar, a través de un Análisis de Consecuencias:
 - 2.2.1 Los efectos que se obtendrían al concretarse el suceso no deseado.
 - 2.2.2 Los daños que provocan esos efectos en las personas, instalaciones y alrededores.

3. Proponer recomendaciones, basándose en los resultados de los objetivos anteriores, encaminadas a aumentar el nivel de seguridad en un área de almacenamiento y específicamente, en esferas con propileno.

4. Resaltar los sistemas de seguridad que debe tener una esfera de almacenamiento.

INTRODUCCIÓN

«En cada accidente una lección de prevención».
Anónimo

El constante crecimiento y evolución tecnológica de la industria, impulsa la existencia de procesos cada vez más complejos, cuya consecuencia es el incremento en los inventarios de los productos almacenados en dichas plantas y su transporte, hace que el organismo humano esté expuesto a una serie de sustancias químicas que representan un riesgo para la salud.

En este contexto, los Estudios de Análisis de Riesgo (EAR) se convierten en herramientas de gran importancia para la prevención de accidentes industriales que afecten el ambiente y otras actividades en que se manipulan sustancias peligrosas.

Todo esto, proporciona los subsidios necesarios para el conocimiento detallado de las probables fallas que pueden conducir a un accidente, así como las consecuencias de estos eventos, permitiendo la implementación de medidas para la reducción de riesgos y la elaboración, aplicación y mejora de planes de emergencia cuya finalidad sea la protección de la vida humana y su medio.

El desarrollo industrial en México ha creado la necesidad de realizar una adecuada planeación en los centros urbanos para que sea posible la convivencia armónica entre la población y las instalaciones industriales.

De aquí la importancia que tiene la regulación de las actividades que deban de considerarse altamente riesgosas, en virtud de la gran cantidad de sustancias químicas existentes en la actualidad, las cuales se almacenan, transportan o procesan, en las actividades comerciales, industriales y de servicios, ya sea como materia prima, productos, subproductos o residuos.

Por otro lado, hoy en día existen plantas químicas de gran tamaño, que han incrementado la capacidad de sus unidades en los últimos 20 años. Como es lógico, este crecimiento, tanto en números de industrias como en su capacidad, ha aumentado el número de personas (dentro de las plantas de proceso y entre la población de los alrededores) que están expuestos a las consecuencias de un accidente industrial.

Esto, ha propiciado una toma de conciencia sobre la seguridad industrial que de algún modo se extiende al público. El gobierno federal en sus distintos niveles ha ido respondiendo a esta creciente sensibilidad social realizando un esfuerzo importante para regular las actividades de la industria en general, y en particular de las industrias que puedan presentar un mayor riesgo.

Algunas formas para regular las actividades industriales consisten en implantar o mejorar las herramientas de análisis ambiental y el control de los procesos productivos, para contar con procesos industriales limpios y seguros como única forma de convivir con el ambiente, y así, minimizar los riesgos de accidentes y efectos adversos sobre la población y el medio.

La prevención de accidentes ambientales es para los sectores público y privado una ACCIÓN PRIORITARIA COORDINADA. En donde el gobierno procura la salvaguarda de la ciudadanía y el medio; el sector industrial, por su parte, además de lo anterior busca asegurar una producción limpia, segura y permanente. Una herramienta que ha probado su eficacia para ambos propósitos es el "*análisis de riesgos*".

El análisis de riesgos es la disciplina que da respuesta a estas necesidades aunada a una serie de técnicas para producir una estimación cualitativa y cuantitativa de los posibles riesgos involucrados en un proceso determinado. Este análisis sirve para identificar las áreas más problemáticas, evaluar y recomendar alternativas viables para la eliminación y/o mitigación de posibles incidentes asociados con un proceso o actividad.

Así, preocupados por la seguridad industrial y por la protección ambiental, la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) esta colaborando con PEMEX-Refinación para realizar Análisis de Riesgos de Proceso en todas sus instalaciones.

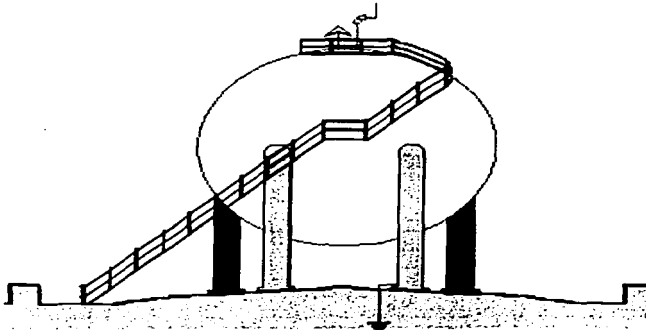
La presente tesis se desprende del análisis realizado en las áreas de almacenamiento de Gas L.P. en dos de sus refinerías. Ya que, de acuerdo a los antecedentes históricos que se tienen sobre las áreas de almacenamiento, los eventos que más han impactado a la comunidad en general, son los relacionados con las BLEVES en tanques esféricos.

Así, con la finalidad de visualizar las salvaguardas que debe poseer una esfera de almacenamiento e identificar las condiciones a evitar, se seleccionaron dos esferas, la TE-402 en Minatitlán, Veracruz y la esfera TE-18 en Salina Cruz, Oaxaca.

Para facilitar su estudio, este trabajo se dividió en cuatro capítulos:

- **Capítulo I.** Contiene los objetivos del trabajo y la presente introducción.
- **Capítulo II:** Presenta los riesgos asociados con el almacenamiento de gases licuables e inflamables, conceptos generales, las acciones que se toman para ayudar a mejorar el nivel de seguridad en esta área, la descripción de las técnicas de análisis de riesgos que sirven de apoyo para la jerarquización y selección de los puntos potenciales de riesgos; además de, una visión muy general de lo que PEMEX está haciendo para convertirse en una empresa líder en su rama a nivel mundial. Finalmente, se resalta la importancia de desarrollar, implantar y fomentar una cultura en seguridad.
- **Capítulo III:** Incluye la descripción detallada de las técnicas usadas para la estimación del riesgo en los tanques esféricos para almacenamiento de propano, los resultados generados y los criterios para obtenerlos.
- **Capítulo IV:** Proporciona las conclusiones del presente trabajo, así como, las recomendaciones propuestas a la empresa.

Capítulo II



Bases Teóricas



BASES TEÓRICAS

1. ACCIDENTES.

1.1. Revisión Histórica.

A partir de la revisión de acontecimientos importantes (como los que se incluyen en la tabla 1), ocurridos dentro del área de almacenamiento de Gas L. P. de diversas refinerías, se han identificado los riesgos asociados a estas zonas y la magnitud de las consecuencias que pueden generar.

Como se observa, estos accidentes son acontecimientos inesperados poco frecuentes fuera de control que interrumpen el desarrollo normal de una actividad; produciendo desde heridas leves (en el mejor de los casos) hasta efectos irreversibles a la salud y a la vida, pero no solo de la del personal de la empresa, sino también a la población relacionada indirectamente con ella (familiares, padres, hijos, etc., de las víctimas), así como la ajena a la misma (vecinos, etc.); generan pérdidas económicas de gran magnitud y alteran la imagen de la empresa en forma negativa.

Esto, ha permitido dotar a las actuales empresas de las herramientas necesarias para desarrollar, aplicar y mejorar programas y medidas con la finalidad de proteger al trabajador y su entorno, lo cual se ve reflejado en el aumento eficiente y seguro de la productividad de la empresa.

Una accidente importante ocasiona principalmente grandes pérdidas humanas, quedando en segundo plano las económicas debido al pago de los:

- **Costos directos:** referidos a las personas, por ejemplo: primeros auxilios, traslado de la víctima, intervención quirúrgica, medicamentos, rehabilitación e indemnización;

Tabla 1: Accidentes ocurridos en el área de almacenamiento de varias refinерías (Ref. 4).

	Port Newark New Jersey (E.U.) 1951.	Montreal East Quebec (Canadá) 1957.	
Recipientes involucrados: número, tipo y volumen.	70 cilindros horizontales: 9 baterías de 6 a 12 tanques con dimensiones de $\phi = 2.7$ m, L = 21.3 m	3 esferas: 1 esfera de 800 m ³ , 2 esferas grandes.	6
Cantidad de Gas L.P. implicada.	En total: ≈ 11 400 m ³ .	Butano (temperatura en el exterior: 6.7 °C, Punto Ebullición del butano: 0.5 °C).	1 tanque tanques
Causa.	Ruptura de la tubería	Sobrellenado (falla en el medidor de nivel).	Fractur
Fuente de ignición.	Después de la ruptura de la tubería hay una chispa (no hubo nube de vapor).	Una estación de servicio a 183 m.	Moto
Temporización del accidente.	Derrame en tubería de ¾" por 3 minutos. 3 min. Después de la ignición: bola de fuego. A los 15 min. BLEVE violenta. Próximos 100 min: BLEVE's de 70 tanques.	Líquido (butano). Amplia nube de vapor. 10 min. Después de la ignición fisura en una esfera. 40 min. Después de la ignición se produce la BLEVE de dos tanques esféricos.	Fu Al Después A los 35 (al)
Dimensiones de la bola de fuego y/o distancias de daños.		Altura de las flamas: 1.5 km (ocasionada por 3, 180 m ³). Explosiones en casa de bombas y otras construcciones.	
Fragmentos: distancias, tipo y peso.	La mayoría de los tanques explosionaron longitudinalmente, otros más circunferencialmente: un tanque voló 800 m.	Gran número de proyectiles en una extensa área. Los soportes del tanque se encontraron de 27 a 358 m. 3 tanques aterizaron a 46, 152 y 183 m.	Con la p la cabez
Varios.	6 baterías (70 tanques) destruidos. De las 3 baterías localizadas a 107 m, sólo 3 tanques son destruidos. Las válvulas de bloqueo de flujo operaron con éxito. El fuego continuó por varios días.		La prime

T-1000
 FALLA DE URGEN



* **Costos indirectos:** Son los generados por los daños a las instalaciones y trámites administrativos, por ejemplo: paradas de la producción, pérdida de materias primas, productos y equipos, investigaciones, tiempo de trabajo, salarios no producidos, readiestramiento, etc.

1.2. Definición de Accidente.

Dentro de la prevención de accidentes, el **accidente** es considerado como una secuencia no planeada de eventos individuales [Fig. 1].

1.3. Secuencia de Eventos.

Un accidente o una secuencia no planeada de eventos individuales generan consecuencias adversas sobre la vida, la salud o las propiedades de las personas. Para evitar o, al menos, minimizar las consecuencias finales se actúa sobre alguna fase -de las que se señalan en la Tabla 2- ya sea, aumentando las respuestas del ambiente (equipos y sistemas de protección) o las humanas (entrenamientos y procedimientos de emergencia).

A las medidas consideradas para alterar la secuencia de eventos individuales de un accidente se conoce como *Medidas de Prevención*.

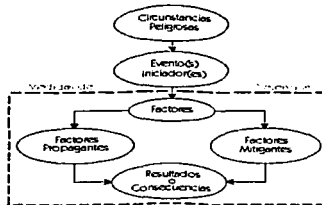


Fig. 1: Secuencia de un accidente.

Tabla 2: Ejemplos para cada fase de un accidente (Ref. 12).

CIRCUNSTANCIAS PELIGROSAS	EVENTO(S) INICIADOR(ES)	FACTOR(ES) PROPAGANTE(S)	FACTOR(ES) MITIGANTE(S)	RESULTADOS Y CONSECUENCIAS
<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de grandes cantidades de sustancias peligrosas. • Materiales altamente reactivos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Transtornos en el proceso. • Fallas en el sistema administrativo. • Errores Humanos. • Eventos externos. 	<ul style="list-style-type: none"> ➢ Fallas de equipos. ➢ Fuentes de ignición. ➢ Fallas en el sistema administrativo. ➢ Errores humanos. ➢ Efecto dominó. 	<ul style="list-style-type: none"> - Respuesta del: <ul style="list-style-type: none"> • control/operador. • Sistema de seguridad. • Sistema de mitigación. 	<ul style="list-style-type: none"> - Resultados: <ul style="list-style-type: none"> • Incendios. • Explosiones. • Projectiles. - Consecuencias: <ul style="list-style-type: none"> • Análisis de efectos. • Evaluación de daños

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



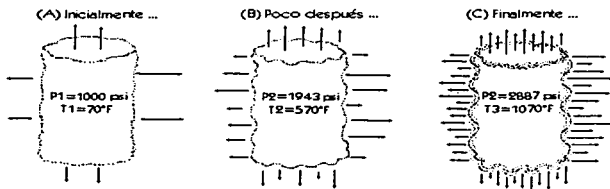
2. GASES.

2.1. Propiedades y Riesgos.

Debido a que la mayoría de las sustancias almacenadas en el área de Gas L.P. son gases, es importante recordar que:

- Las fuerzas de atracción entre sus moléculas son mínimas, lo cual indica que tienen poca cohesión.
- Son muy expansivos, pues ocupan todo el volumen del recipiente que lo contiene.
- La velocidad media de las moléculas de un gas determina su temperatura.
- El resultado entre los choques de las moléculas de un gas y las paredes del recipiente que lo contiene es la presión.
- El volumen de un gas está notablemente influenciado por la presión y temperatura que soporta [Fig. 2].

Fig. 2: Efecto de la presión sobre las paredes de un envase a volumen constante, (como un recipiente metálico, que almacena una masa fija de gas) al ser expuesto a altas temperaturas.

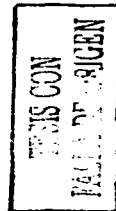


$$\text{Si } V = \text{cte } (T/P), \text{ entonces } V_1 < V_2 < V_3$$

Así, un incremento en la temperatura aumentará notablemente la velocidad de las moléculas del gas y los choques de éstas contra las paredes del recipiente, generando la alta presión.

2.2. Modelos Ideales.

Se sabe que, de los tres estados de la materia, sólo el gaseoso puede ser descrito mediante la relación entre su masa, volumen, temperatura y presión. Algunos ejemplos de estas relaciones están contenidas en





modelos ideales como: las Leyes de Boyle, Charles-Gay Lussac y la Ecuación General de los Gases Ideales [Cuadro 1], y dependiendo del gas variará el rango para el cual son válidas.

Cuadro 1: Modelos ideales para describir el comportamiento de los gases.

LEYES DE LOS GASES	A) Ley de Boyle	<p>Si la masa y la temperatura de un gas permanecen fijas ... Un aumento en la presión causará que el volumen disminuya.</p>	$V \propto (1/P)$ $V = k \cdot (1/P)$ $VP = k$ $V'P' = P''V''$
	B) Leyes de Charles y Gay Lussac	<p>1) Si la masa y la presión de un gas permanecen fijas ... El volumen aumentará conforme aumenta su temperatura.</p> <p>2) Si la masa y el volumen de un gas permanecen fijos ... La presión aumentará conforme aumenta su temperatura.</p>	$V \propto T$ $V = k \cdot T$ $(V/T) = k$ $(V'/T') = (V''/T'')$ $P \propto T$ $P = k \cdot T$ $(P/T) = k$ $(P'/T') = (P''/T'')$
	C) Ecuación General de los Gases Ideales.	<p>Los volúmenes ocupados por una misma masa gaseosa son directamente proporcionales a las temperaturas absolutas correspondientes e inversamente proporcionales a las presiones soportadas.</p>	$V \cdot P \propto (1/T) = k$ $V' \cdot P' \cdot (1/T') = V'' \cdot P'' \cdot (1/T'')$ <p style="text-align: right; font-size: small;">Esta ecuación elimina la restricción de que T, P o V sean constantes.</p>

Si los gases, además son inflamables, también deberá considerarse lo siguiente:

2.3. Gases Inflamables: Términos Básicos.

Para que una sustancia arda, sus gases o vapores tienen que estar mezclados en determinadas concentraciones con el oxígeno del aire, formando una mezcla inflamable óptima. Esta concentración (expresada normalmente en porcentaje de volumen de gas o vapor en el aire) variará dependiendo del combustible que se trate.



◆ **Las mezclas inflamables pueden ser:**

- a) **Mezcla rica:** Es cuando el porcentaje de gases o vapores excede el límite superior, es decir, existe demasiado gas y un bajo porcentaje de aire.
- b) **Mezcla pobre:** Es cuando el gas o vapor se encuentra abajo del límite inferior, es decir, existe demasiado aire y poca cantidad de gases o vapores inflamables.
- c) **Mezcla óptima:** Es cuando los gases o vapores se encuentran entre el rango superior e inferior.

◆ **El límite explosivo inferior.**

Es la concentración mínima de gas o vapor en el oxígeno del aire debajo de la cual una sustancia no se quema cuando se expone a una fuente de ignición.

◆ **El límite explosivo superior.**

Es la concentración máxima de gas o vapor en el oxígeno del aire por encima de la cual no hay ignición.

◆ **Rango de inflamabilidad.**

El rango de inflamabilidad de una sustancia, a veces nombrado como **rango explosivo**, es la diferencia numérica entre los límites explosivos superior e inferior.

◆ **Temperatura de inflamación (Flash point)**

Es la temperatura mínima en la cual una sustancia comienza a desprender gases o vapores en un porcentaje aceptable (mezcla inflamable óptima) que, al contacto con una flama o chispa, encenderá. También se le conoce como **punto de relámpago** puesto que; la mezcla inflamable sólo produce relampagueos momentáneos y no permite que la sustancia se queme en forma continua.

◆ **Temperatura de combustión (Fire point).**

Si la temperatura de un líquido inflamable aumenta más allá de su punto de inflamación, se alcanza una temperatura, en la cual, ocurre la combustión continua de la propia sustancia.

◆ **Temperatura de autocombustión (Autoignition point).**

Si la temperatura de un líquido inflamable se aumenta aún más, se logra una temperatura mínima en la cual ocurre una combustión autosostenida sin una fuente de ignición.

● **Peso específico de una sustancia.**

Es la relación que existe entre el peso de una sustancia y el peso del agua. Como patrón de referencia al agua se le asigna el valor 1.

● **Densidad relativa de los gases.**

Corresponde a la relación existente entre un gas y otro, considerando como patrón el aire (al cual se le asigna el valor de 1). Si los gases o vapores son más ligeros que el aire (con densidad menor a 1) se elevarán, si son más pesados que el aire (con densidad mayor a 1) se acumularán en los niveles inferiores.

Hasta este momento se ha hablado sobre aspectos importantes relacionados con las sustancias manejadas dentro de un área de almacenamiento, pero, ¿qué hay de los riesgos que implica el manejo de estas sustancias?

3. RIESGO.

3.1. Concepto.

Antes de contestar dicha pregunta, se proporciona la definición, según la OSHA (Occupational Safety and Health Administration), para el riesgo: "Un riesgo es la medida de la probabilidad y severidad del daño que se puede causar a las personas y a sus propiedades".

De acuerdo a esto, el Riesgo (R) se calculará como: $R = P * C$ (Ec. 1)

Donde: P : es la probabilidad de que suceda un evento no deseado,

C : es la magnitud de su consecuencia,

O bien, de la siguiente forma: $R = F * G$ (Ec. 2)

Donde: F : es la probabilidad de que se verifique un evento dentro de un intervalo de tiempo prefijado (frecuencia) y se expresa como el inverso del tiempo.

G : gravedad de las consecuencias o simplemente magnitud. Generalmente se expresa como: número de muertos, daños a las instalaciones, al medio o pérdidas económicas.



Para disminuir un riesgo se puede hacer uso de las siguientes medidas:

- a) Protección. Permite reducir la magnitud de la consecuencia y mantener la misma frecuencia.
- b) Prevención. Permite mantener la misma magnitud de la consecuencia y reducir la frecuencia.

3.2. Tipos.

El simple desarrollo de una actividad industrial hace que las personas puedan estar expuestas a uno o algunos de los siguientes riesgos:

- Riesgos convencionales:

Aquellos que están ligados a las actividades laborales.

- Riesgos específicos:

Están relacionados con el empleo de sustancias particulares y productos químicos, que por su naturaleza, puedan producir daños a corto y largo plazo a las personas, las instalaciones y el ambiente.

- Grandes Riesgos Potenciales:

Están ligados a accidentes irregulares cuyas consecuencias son explosiones o emisiones de sustancias peligrosas que puedan afectar extensas áreas, tanto en el interior como el exterior de la planta industrial.

De estos tipos de riesgos, el asociado a los grandes riesgos potenciales es el que se caracteriza por destruir en muy poco tiempo lo que se ha construido en años. Por esto y por estar altamente ligados a las áreas de almacenamiento se profundizara aún más en ellos.

4. GRANDES RIESGOS.

Generalmente, los grandes riesgos industriales implican el escape de material de un recipiente, que, en el caso de sustancias volátiles incluye su evaporación y dispersión.

- **Si ocurre un escape de material inflamable, la consecuencia inmediata es:**

La formación de una nube de vapor inflamable, que al tener contacto con una fuente de ignición, puede provocar un incendio o una explosión que afectará el lugar y posiblemente, las zonas cercanas.



- Si ocurre un escape de material tóxico, la consecuencia inmediata es:

La formación de una nube de vapor tóxica; su arrastre causa muertes y lesiones graves a varios kilómetros del punto de fuga; el número efectivo de víctimas dependerá de la eficacia de las medidas de emergencia (incluida la evacuación) y de la densidad demográfica en el camino que sigue la nube.

Cuando se fuga un líquido inflamable, puede existir cualquiera de las siguientes posibilidades (Ref. 2):

1. Bajo ciertas circunstancias, la fuga puede producir una FLAMA y nada más. Esta situación se presenta cuando se tienen orificios pequeños y cuando la ignición ocurre en pocos segundos.
2. Cuando la emisión es grande y el tiempo antes de la ignición, es relativamente grande, se puede presentar un FLAMAZO o BLEVE (Boiling Liquid Expansion Vapor Explosion). Este tipo de fenómeno provoca una radiación térmica intensa, pero la sobrepresión es muy pequeña.
3. Desarrollo de una explosión por nube de vapor no confinada UVCE (Unconfined Vapor Cloud Explosion).
4. La última posibilidad es cuando el vapor inflamable, debido a condiciones atmosféricas, topográficas, etc. favorables, se DISPERSA SIN PROVOCAR incidentes mayores.

Dentro de los puntos 2 y 3, las consecuencias que suelen presentarse y están relacionadas entre sí son: el incendio, las nubes de vapor y las BLEVE's. A continuación se hablara de ellos.

4.1. Incendios.

Para que se produzca el **fuego**, es necesaria la participación simultánea de los siguientes tres elementos, si uno de ellos falta o se separa, no hay combustión.



Fig. 3: Triángulo del Fuego.

Comburente	=	Oxígeno	(Aire Atmosférico)
Energía De Activación	=	Calor	(Fuente de Ignición)
Combustible	=	Combustible	(Vapores Inflamables)

De esta forma, el manejo seguro de sustancias inflamables estará basado en el principio de prevenir la finalización del triángulo de fuego. Y la separación de cualquiera de los tres componentes evitará un incendio o ayudará a apagar uno existente.

De acuerdo a su tamaño, el fuego podrá ser un:

- **AMAGO:** Fuego incipiente o pequeño, el cual es posible extinguir por personal que se encuentre en las inmediaciones, con los elementos con que se cuente, antes de la llegada de Bomberos.
- **INCENDIO:** Fuego descontrolado de grandes proporciones, el cual no pudo ser extinguido en los primeros minutos. Requiere urgentemente la presencia de los Profesionales de la Emergencia (Bomberos).

Algunos incendios pueden ser:

- **Incendio de surtidor o de chorro.** Ejemplo, cuando una tubería de gas tiene un escape.
- **Incendio de depósito.** Ejemplo, si una fuga de petróleo bruto de un depósito situado dentro de un muro de protección se inflamara.
- **Incendio repentino.** Ejemplo, si un escape de gas llegara a una fuente de combustión y se quemara rápidamente regresando a la fuente del escape.

En la siguiente tabla se muestran los medios de extinción recomendables, dependiendo del material que lo originó, para los incendios A, B, C y D.

Tabla 3: Tipos de incendio de acuerdo al material combustible y medios de extinción.

Tipos	Materia	Ejemplos	Tipo de extintor
A	Sólidos carbonosos.	Madera, textiles y papel.	Agua.
B	Gases y Líquidos inflamables y combustibles.	Gas LP, Hidrógeno, Propano, Metanol, etc.	Dióxido de Carbono, polvo químico seco o la espuma.
C	Equipo de uso en la industria eléctrica.	Interruptores, motores, subestaciones, fusibles, cableado, etc.	Dióxido de Carbono, polvo químico seco.
D	Metales con ciertas propiedades químicas reactivas.	Metales alcalinos: sodio, potasio, magnesio, aluminio, etc.	Extintores especiales como el grafito o la sal de mesa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

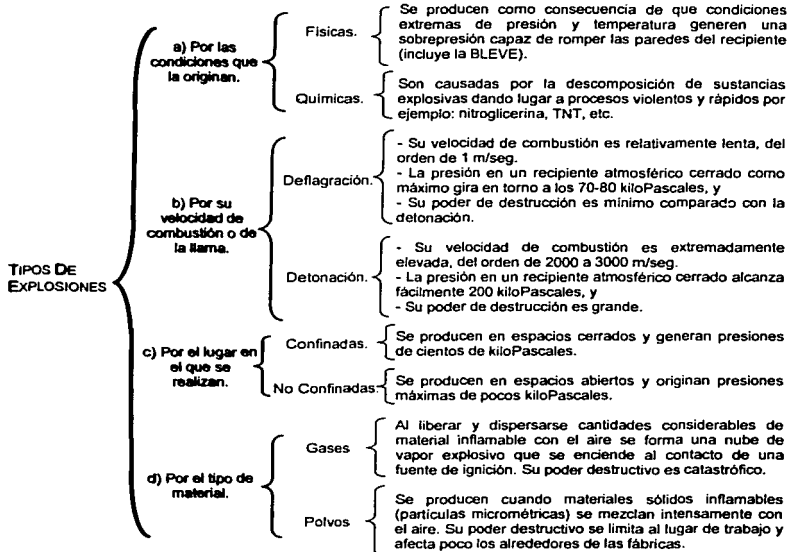


Los incendios son más frecuentes que las explosiones y que las emanaciones de sustancias tóxicas, aunque sus consecuencias en pérdidas de vidas humanas suelen ser menos graves; el efecto sobre las personas, son quemaduras en la piel por exposición a radiaciones térmicas (la gravedad de las quemaduras dependerá de la intensidad del calor y el tiempo de exposición).

4.2. Explosiones.

Cuadro 2: Tipos de explosiones.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Una explosión es una liberación (expansión) súbita de gas a alta presión en el ambiente. Al expandirse el gas, su energía se disipa en el ambiente mediante una *onda de presión* cuyo componente principal es la *onda*



de choque. Los efectos de la onda de choque dependerán de las características del material, cantidad y grado de restricción de la nube de vapor.

La explosión en sí produce cierta cantidad de muertes, pero debido a efectos indirectos —como edificios derrumbados, cristales y escombros que vuelan por el aire a metros de distancia— aumenta el número de heridos graves, pérdidas de vidas humanas y daños a las demás propiedades.

4.2.1. Explosiones de Nubes de Vapor No Confinadas. *Unconfined Vapour Cloud Explosion (UVCE).*

Las explosiones confinadas son las que ocurren con alguna barrera de contención (por ejemplo las que suceden en recipientes o tuberías; además de las explosiones dentro de edificios). Las explosiones de nubes de vapor no confinadas o al aire libre son deflagraciones cuya onda de presión alcanza una sobrepresión máxima del orden de 1 bar en la zona de ignición; su poder de destrucción es grande y afecta a distancias lejanas del punto de escape.

Normalmente se originan por el escape rápido de un fluido inflamable, que si no es cortado a tiempo, forma una nube de considerables dimensiones que tiene gran probabilidad de encenderse con cualquier foco de ignición presente en toda la planta industrial, produciendo una deflagración o un incendio rápido que afectará a personas e instalaciones dentro de su radio de acción.

Si la explosión al aire libre encuentra diversos obstáculos (como equipos de proceso, paredes de edificios, árboles, etc.) y fuentes de ignición potentes, puede alcanzar cierto grado de confinamiento y turbulencia, generando sobrepresiones superiores a las de explosiones no confinadas.

En el caso de que suceda un escape permanente de un fluido inflamable con una reducida dispersión del mismo sólo se presentaría un incendio rápido en forma de llamarada que no produce onda de presión, ni deflagración; cuyo efecto más importante es la radiación térmica.

Las explosiones generadas por nubes de vapor no confinadas (UVCE) parecen depender de (Ref. 2):

a) La emisión de una cantidad crítica mínima, que dependerá de la reactividad del material. Por ejemplo, para una UVCE de propileno se necesitarán 5.5 Ton, en algunas gasolinas basta con 10 Ton, otras sustancias como el acetileno y el hidrógeno requerirán de 100 Kg y 30 Kg respectivamente.



- b) Una situación propicia para producir una buena mezcla entre el aire y el vapor.
- c) En conexión con el inciso (b), parece existir una cantidad máxima de material explosivo necesaria para producir una DEFLAGRACION y que según observaciones en campo, queda comprendida entre 40 y 50 Ton.
- d) El tiempo transcurrido entre el inicio del escape y la ignición dependerá de la masa liberada, de las condiciones en que se efectúa la fuga o derrame y de las mismas condiciones atmosféricas (puede oscilar entre 20 a 30 segundos o incluso algunos minutos).

De acuerdo con los resultados de los incidentes investigados sobre UVCE se ha determinado que:

- Los vapores de productos inflamables que contienen entre 2 y 6 átomos de carbono han sido responsables de prácticamente todos los casos de procesos explosivos, con preponderancia de los hidrocarburos con 3 y 4 átomos de carbono.
- Las características de los daños causados por las UVCE se aproximan a las características de los altos explosivos, sólo que los vapores de materiales orgánicos inflamables, con algunas excepciones, siempre DEFLAGRAN, en tanto que los altos explosivos, siempre DETONAN.

Existen diversos modelos empíricos para la determinación de los parámetros necesarios para la evaluación de las consecuencias de una explosión.

Un método sencillo y que da resultados adecuados es el **Modelo del Equivalente en TNT** (Trinitrotolueno). Se basa en la hipótesis de la equivalencia en efectos explosivos entre una masa determinada de materia inflamable y otra de TNT. Considerando que a partir de cierta distancia la forma de la onda inicial de la explosión es igual que la explosión de una nube de vapor.

4.2.2. Explosión del Vapor de un Líquido en Ebullición. *Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (BLEVE).*

4.2.2.1. Definición de la BLEVE.

La BLEVE puede originarse por el impacto físico sobre un recipiente o, por un incendio externo que incide sobre la superficie de un recipiente a presión, especialmente por encima del nivel líquido, debilita su resistencia y genera una rotura repentina del mismo; dando lugar a una explosión expansiva de toda la masa de líquido evaporada súbitamente, aumentando su volumen más de 200 veces.



La gran energía desarrollada en esa explosión repentina proyecta fragmentos del recipiente con distintos tamaños a varios kilómetros de éste; los fragmentos pueden arrastrar cierta masa de líquido en forma de lluvia con gotas muy finas. Y si el líquido es inflamable, a lo largo de esta distancia, existe la posibilidad de que se encienda formando un hongo y, en un instante, la gran **bola de fuego (fireball)**.

La bola de fuego que se forma por la deflagración (combustión rápida) de la masa de vapor liberada, se irá expandiendo a medida que va ardiendo la totalidad de la masa de vapor liberada y origina una radiación térmica de enorme intensidad en pocos segundos, capaz de provocar la muerte de todo ser vivo que quede encerrado en la misma.

Una BLEVE se produce si coinciden las siguientes condiciones que están relacionadas entre sí:

- a) *El producto debe estar en estado líquido sobrecalentado.*

Un líquido sobrecalentado posee una temperatura superior a la que le correspondería si se hallara en equilibrio con su presión de vapor (no toda temperatura de sobrecalentamiento permite la formación de BLEVE's, debe superarse una temperatura límite). Esta situación de inestabilidad suele darse en recipientes sobrellenados o expuestos a una importante radiación. Un gas licuado estará en condiciones de sobrecalentamiento cuando en caso de fisura en un depósito, se produce un descenso de la presión para igualar a la atmosférica.

- b) *Debe haber una disminución súbita de la presión en el interior del recipiente.*

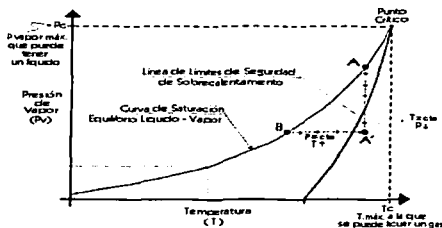
El descenso súbito de la presión puede ser causado por: desprendimiento del disco de ruptura, pérdida de resistencia del recipiente ante un incendio con la consiguiente fractura del mismo; perforación por impacto del recipiente, fractura por sobrellenado e incluso, disparo de válvulas de seguridad mal diseñadas. Cuanto mayor sea la caída de presión, mayores serán también los efectos de la BLEVE en caso de producirse. El tamaño de la abertura inicial del depósito es determinante en la rapidez de la disminución de presión y en la zona afectada por la nucleación. La *nucleación* es la evaporación altamente violenta (a través de la formación espontánea y generalizada de burbujas de vapor) de un líquido sobrecalentado a ciertas condiciones de presión y temperatura, que ha sido expuesto a un descenso súbito de presión.

4.2.2.2. Termodinámica de la BLEVE.

Cualquier líquido o gas licuado almacenado en el interior de un recipiente cerrado se encuentra en dos fases en equilibrio: líquido y vapor. Este equilibrio es mostrado en la curva de saturación (presión contra

temperatura) de la figura 4, donde a cada temperatura del líquido le corresponde una determinada presión de vapor, siendo esta presión de vapor la que está soportando la pared interior del recipiente expuesto a la fase vapor.

Fig. 4: Curva de Saturación Presión - Temperatura.



El sobrecalentamiento de una sustancia puede lograrse mediante calentamiento, superando su punto de ebullición sin que llegue a transformarse en vapor, o bien disminuyendo la presión a temperatura constante.

Así por ejemplo, [Fig. 4] el sobrecalentamiento del punto A' se puede alcanzar, por:

- Un aumento de temperatura a presión constante (del punto B al punto A'), o
- Una disminución brusca de presión a temperatura constante (por expansión isoentrópica) desde el punto A hasta el punto A'.

Evidentemente la posición A' es una situación inestable que tenderá a buscar su posición natural de equilibrio sobre la curva de saturación. En esta zona, se favorece la nucleación espontánea como paso previo a la vaporización masiva y por tanto, de la BLEVE (al existir un descenso brusco de la presión a temperatura constante).

4.2.2.3. Consecuencias de la BLEVE.

Cuando la BLEVE se genera por la ruptura de los recipientes que almacenan líquidos inflamables expuestos a un incendio, las principales consecuencias en orden de importancia decreciente son:

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



- La radiación térmica resultante de la bola de fuego.
- La proyección de fragmentos metálicos cuando estalla el recipiente, y
- La onda de la explosión producida por la expansión del vapor/líquido.

Para la cuantificación de estos tres tipos de consecuencias se han desarrollado diferentes modelos empíricos de análisis que han recogido las experiencias de accidentes sucedidos. Dada la diversidad de modelos matemáticos existentes, para consultas posteriores se mencionan las referencias 2, 12 y 21.

La radiación térmica que genera la bola de fuego formada, el incendio del líquido derramado y el posible impacto de trozos de recipiente proyectados a distancias considerables en la explosión, provocan que los recipientes metálicos próximos (como los que normalmente están en las áreas de almacenamiento de líquidos y gases inflamables) y englobados por dicha bola; si no disponen de protección, no resistan el calor recibido, ni el impacto, provocando su rotura y el consecuente efecto dominó de propagación (el cual genera posibles explosiones en otros recipientes, propagación de incendios, etc.).

Evidentemente, la gravedad de los daños a personas y bienes estará en función de la distancia a dicha bola de fuego. Por ello, es fundamental evitar las condiciones que puedan generar BLEVE's:

- Limitación de presiones excesivas.
- Limitación de temperaturas excesivas.
- Prevención de roturas en las paredes de los depósitos.
- Sistemas retardantes de la nucleación espontánea (aún se encuentran en fase de investigación).

5. RECIPIENTES ESFÉRICOS.

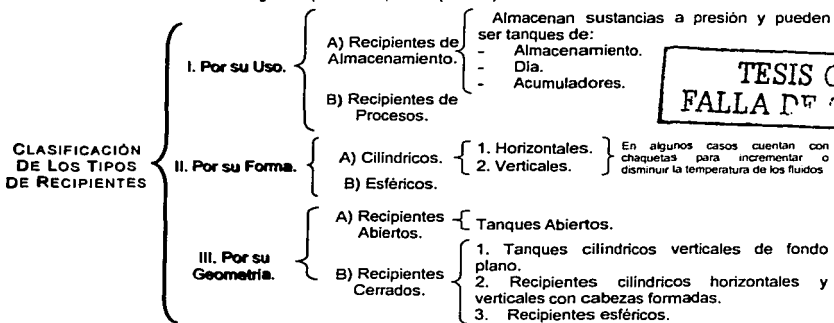
A continuación se proporciona una idea general sobre las características y requisitos mínimos que de acuerdo a la literatura en seguridad, deben cubrir los recipientes esféricos dentro del área de almacenamiento en una refinería.

Dentro de las industrias, los tanques se emplean para almacenar sustancias que se dirigen o salen de algún proceso, por lo tanto, en una industria existen diferentes tipos de tanques [Cuadro 3]. Los recipientes de



almacenamiento a presión por su geometría pertenecen a los recipientes cerrados; todos los recipientes cerrados son útiles para almacenar fluidos tóxicos o combustibles.

Cuadro 3: Clasificación de algunos tipos de recipientes (Ref. 22).



5.1. Propiedades de los Materiales.

El diseño de los recipientes será según códigos o normas usando adecuados factores de seguridad y la construcción de acuerdo a la buena práctica de ingeniería. En la fabricación de los tanques, los materiales elegidos deberán ser compatibles con las propiedades de la sustancia almacenada y pueden ser soldados, remachados y/o empemados.

Algunas propiedades consideradas al seleccionar el material para construir estos recipientes son:

- **Propiedades Mecánicas.** Debe considerarse el coeficiente de dilatación térmica.
- **Propiedades Químicas.** Debe tener resistencia a la corrosión (que suprima o atenúe este fenómeno), pues las consecuencias de una mala selección genera cualquiera de los siguientes problemas: a) Reposición del equipo corroido, b) Sobre-espesor en las dimensiones, c) Mantenimiento preventivo (uso de pinturas protectoras o aplicaciones antioxidantes), d) Paros debido a la corrosión de equipos, e) Contaminación o pérdida del producto.



* **Soldabilidad.** Se recomienda que tengan buenas propiedades de soldabilidad, dado que la mayoría de los componentes son de construcción soldada. Para el caso de soldar materiales diferentes entre sí, se espera que sean compatibles en lo que a soldabilidad se refieren.

Cuando se manejan materiales peligrosos es recomendable emplear acero (por su bajo costo inicial y sus propiedades), ya que el hierro fundido es frágil e impuro, se puede romper y poner en peligro las instalaciones. Para los aceros, la tabla 4 presenta algunos breves comentarios.

Tabla 4: Comentarios sobre los materiales comúnmente empleados para la fabricación de tanques (Ref. 22).

Material	Aceros al Carbón	Aceros de Baja Aleación	Aceros de Alta Aleación o Aceros Inoxidables	Materiales No Ferrosos
Costo	BAJO			ALTO
Comentarios	Recomendado para la mayoría de los recipientes donde no existen altas presiones ni temperaturas	Tienen mejor comportamiento en resistencia mecánica para rangos más altos de temperaturas respecto a los anteriores	Por su alta aleación ofrecen una alta resistencia a la corrosión	Serven para manejar sustancias con alto poder corrosivo

Las tuberías para la conducción de hidrocarburos serán de acero en tramos de la mayor longitud posible unidos por soldadura o mediante bridas, las cuales se limitarán a lo estrictamente necesario para reducir las posibilidades de fugas. Las tuberías y los depósitos se pintarán de blanco para que sea fácil detectar cualquier pérdida que pudiera producirse.

Como la forma esférica es la apariencia natural que adquieren los cuerpos al ser sometidos a presión interna, los tanques esféricos son la manera más recomendable para almacenar cualquier gas licuado a su temperatura crítica y presión requerida. Sin embargo, la fabricación de estos es más cara que la de los recipientes cilíndricos.

En general, las esferas están formadas por gruesas paredes de acero, sostenidas con cuatro o más soportes a prueba de fuego. Disponen de una escalera en espiral (con pendiente \leq a 45° y un ancho mínimo de 0.75 m) y una plataforma para realizar inspección, mediciones o mantenimiento desde el techo. El suelo de la esfera deberá ser impermeable a los combustibles que encierra.



El número de conexiones en los depósitos debe reducirse al mínimo posible [Tabla 5]. Todas las conexiones al depósito se realizarán intercalando entre el depósito y la tubería una válvula de bloqueo de acero construida de acuerdo con lo especificado en el Reglamento de Aparatos a Presión.

Para tuberías mayores a 50 mm de Diámetro Nominal se usarán juntas bridadas o soldadas, para tuberías de 50 mm de Diámetro Nominal o menores, también se podrán usar juntas roscadas.

Tabla 5: Ubicación de algunos instrumentos en una esfera de almacenamiento (Ref. 22).

Instrumento	Ubicación
Manómetro	Tope de esfera
Termómetro	Nivel mínimo del líquido
Indicador de nivel:	
a) Tipo flotador	Interno automático
b) Lectura local, tipo diferencial	Tope y fondo de esfera
c) Alarma de alto nivel	Nivel máximo del tanque

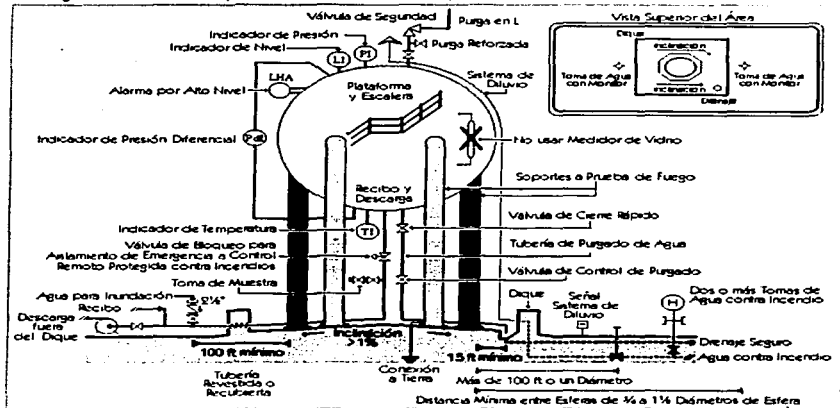
5.2. Diseño Característico.

Existen ciertas características en el diseño de una esfera de almacenamiento (Ref. 3) que ayudan a reducir los riesgos del almacenamiento presurizado expuestos con anterioridad. Las características son:

- 5.2.1. **Protección por Sobrepresión.**
- 5.2.2. **Protección por Sobrellenado.**
- 5.2.3. **Contención de derrames.**
- 5.2.4. **El espaciamiento de equipo.**
- 5.2.5. **Aislamiento por control remoto.**
- 5.2.6. **La protección contra incendios.**
- 5.2.7. **Otros sistemas.**

La figura 5 ilustra un diseño característico para las esferas de almacenamiento presurizadas. Las precauciones mencionadas pueden aplicarse a otros recipientes similares dentro de la unidad de proceso que quizá también experimenten una BLEVE.

Fig. 5: Diseño característico para una esfera de almacenamiento presurizada.



5.2.1. Protección por Sobrepresión.

Se proporciona a recipientes que almacenan sustancias capaces de experimentar una BLEVE. La protección correspondiente consiste en instalar válvulas de seguridad para alivio de presiones o discos de ruptura, los cuales no permiten que se alcance la presión de diseño de los propios recipientes. Tales elementos de seguridad, en todo momento, deben estar en perfectas condiciones, ya que un diseño incorrecto o un mantenimiento deficiente los vuelve ineficaces.

Los escenarios que dan lugar a las sobrepresiones en los recipientes son: a) sobrellenado; b) rotura, fisura o fuga incontrolada y c) exposición a una importante radiación térmica.

5.2.2. Protección por Sobrellenado.

Una medida de seguridad fundamental, es nunca sobrepasar el nivel máximo permisible de llenado (que varía dependiendo de las características del fluido y las condiciones de almacenamiento, aunque



normalmente se llenan entre un 80%-85% de su capacidad). La protección consiste en instalar instrumentación redundante (de regulación y control del nivel de llenado) para aumentar la probabilidad de que el operador reaccione adecuadamente ante un sobrellenado del recipiente.

Los tanques de almacenamiento presurizado deben tener dos dispositivos para medir niveles, que sean independientes entre sí y puedan ser reparados sin dejar a la esfera fuera de servicio. También, una alarma para alto nivel que sea independiente de los otros instrumentos de nivel. (No es recomendable instalar medidores de vidrio por su gran tamaño y vulnerabilidad). Las indicaciones para saber hasta dónde inundar y como actuar en caso de sobrepasar dicho nivel deben estar incluidas en los procedimientos de llenado de los recipientes.

5.2.3. Contención de Derrames.

Alrededor de las esferas se colocarán diques, muros de retención o sistemas de encauzamiento a lugares lejanos, para recoger los posibles derrames en caso de operaciones de llenado o vaciado y en el caso de rotura del tanque. El dique puede ser de concreto, tierra u otro material impermeable.

Comúnmente, el material derramado es encerrado dentro del área del dique. Sin embargo, para prevenir acumulaciones debajo del tanque, se recomienda aplanar e inclinar levemente el suelo (la pendiente no debe ser menor al 1%), de forma tal, que permita el rápido vaciado y traslado del fluido derramado al sistema de desagüe o a un contenedor seguro.

La altura del dique ($0.60\text{ m} \leq \text{altura} \leq 1.80\text{ m}$) permitirá el fácil acceso normal y de emergencia a los tanques, válvulas y equipos. Dentro de la zona del dique no deben de existir bombas y equipos que puedan ser causa de escapes o incendios en esa área y el paso de la tubería a través de los muros perimetrales del dique deberá hacerse asegurando que la estanqueidad quede asegurada.

5.2.4. El Espaciamiento de Equipo.

El espaciamiento de equipo establece las distancias mínimas que deben existir entre cada equipo, con la finalidad de impedir la propagación de incendios menores hacia el equipo adyacente y reducir la probabilidad de que el incendio se incremente y envuelva a la unidad completa.

Resulta importante recordar que todo equipo que sea capaz de derramar materiales inflamables será localizado contrario a la dirección de los vientos dominantes con el fin de evitar la propagación de nubes



accidentales de gases combustibles hacia el área de proceso (dónde se pueden encender con cualquier flama abierta, chispa o superficie caliente) y/ o zonas habitadas.

Algunas distancias mínimas que aplican para un recipiente de almacenamiento y:

- Una unidad de proceso es de 250 ft ó 76 m.
- El cuarto de control es de 100 ft o 30 m.
- Las tomas de agua contra incendio son de 50 a 250 ft o 15 a 76 m.
- Otro tanque de almacenamiento va de $\frac{3}{4}$ a $1\frac{1}{2}$ diámetros (D) de largo dependiendo del tipo de sustancia almacenada, o, se toma en cuenta el diámetro del tanque mayor o del que se exija mayor separación según la literatura.

Además las esferas no deben estar dispuestos en más de dos filas y cada una tendrá una calle o vía de acceso contigua que permita la libre intervención de los medios móviles de lucha contra incendios. Los tanques se agruparán de acuerdo al tipo de sustancia almacenada o tipo de tanque.

En cuánto a los recipientes cilíndricos horizontales dentro del área de almacenamiento, estarán orientados de forma tal que su eje longitudinal no apunte, ni a otros depósitos, ni a zonas con riesgos de incidencia. Si esto no es posible, se colocará un muro pantalla frente al depósito, en la prolongación de su eje, capaz de soportar el impacto del cilindro o partes del mismo por efecto de una explosión en su interior.

Aunque, el espaciamiento adecuado de equipo es importante, no puede impedir la propagación de una BLEVE de un depósito a otro, debido a los posibles impactos de trozos de recipiente proyectados a grandes distancias por la explosión.

5.2.5. Aislamiento a Control Remoto.

El empleo de aislamientos a control remoto reduce al mínimo la cantidad de material que se libera en caso de derrame u otro incidente indeseable. El aislamiento de emergencia para recipientes que almacenan sustancias propensas a experimentar una BLEVE, es ejecutado por válvulas de bloqueo operadas a control remoto, localizadas debajo de la zona del líquido, en la tubería principal del proceso.

Las válvulas pueden estar dentro de la presunta zona de fuego, entonces los cables de control y fuentes de energía serán instalados lejos del dique y tienen que ser a prueba de fuego o ignífugados. En



algunos casos, la válvula que aísla al tanque en caso de emergencia es la válvula tipo *Vickers*, y el sistema de aislamiento consta de: válvulas tipo *vickers* y un sistema oleodinámico c/s tapones fusibles.

El sistema sin tapones fusibles funciona de la siguiente forma: el fluido hidráulico (aceite) es aplicado a presión por el sistema de potencia, el cual cuenta con dos bombas y un tanque de almacenamiento de aceite, este llega a través de la red hidráulica a las válvulas *vickers* manteniéndolas abiertas, una interrupción en el sistema (por falla de las bombas o por una fuga de aceite) da como consecuencia el cierre de las válvulas *vickers* aislando rápidamente el tanque de almacenamiento.

Cuando el sistema incluye un anillo con tapones fusibles, las válvulas se cierran por la interrupción en el suministro de aceite al fundirse los tapones en presencia de fuego (ya que los tapones están hechos de plomo o de elementos que fundan a 100° C). Los anillos de tapones fusibles en las esferas se instalarán en la zona de válvulas y en las patas de cimentación de las mismas.

5.2.6. La Protección Contra Incendios.

El Equipo de protección contra incendio adecuado es necesario para que el personal de la planta: apague rápidamente incendios pequeños, tenga bajo control en menos tiempo incendios más grandes y evite su propagación al mantener frescos los equipos expuestos a fuego directo, a los efectos de radiación térmica de una BLEVE o a un incendio generado en un área próxima.

La limitación de la cantidad de calor absorbido por el recipiente permite evitar su fractura por sobrecalentamiento y llegar a una BLEVE. Entonces, para limitar la propagación de altas temperaturas por incendios en los recipientes se:

- Hacen a prueba de fuego los depósitos cilíndricos horizontales,
- Emplean sistemas de diluvio con agua en los tanques esféricos, y
- Usan sistemas de pulverización de agua para todo tipo de recipiente.

A continuación, debido a su importancia se profundizará más en estos sistemas de mitigación.

- **Recipientes a prueba de fuego o ignífugados.**

Probablemente la manera más eficaz para reducir el calor absorbido es la colocación de un aislante inflamable entre el incendio y el tanque. El aislante, generalmente hormigón, mortero de cemento (1:3) u otra forma de aislamiento; debe tener una conductibilidad térmica baja, no ser combustible y ser lo bastante espeso



(4 o 5 cm) para mantener la temperatura del tanque por debajo del punto de fractura (al menos por dos horas) para que probablemente durante este tiempo, los bomberos tengan bajo control el incendio y las áreas en riesgo sean evacuadas.

La ventaja principal de este método es que protege sin la intervención de operadores; y tiene los siguientes inconvenientes: proporciona protección por tiempo limitado, pero si no se proporciona buen mantenimiento puede favorecerse la corrosión acelerada en el metal.

Este método de protección es el preferido para los depósitos cilíndricos horizontales. Su uso no es muy común en las esferas debido a los costos para su instalación, protección de la corrosión y largos periodos de mantenimiento.

- **Sistema de diluvio con agua.**

Emplea una larga (3.5 a 6" de diámetro) cabeza de diluvio o "gorro japonés" (a veces dos) y vertederos para distribuir equitativamente el agua sobre toda la superficie del depósito. Su diseño es de forma tal que evita superficie metálica expuesta al fuego. Se emplea en esferas y tanques con techo de cúpula.

El flujo de agua debe ser mayor en la parte superior, por ser la zona de la fase vapor donde fácilmente pueden alcanzarse temperaturas críticas. Este sistema difícilmente se tapa debido a los grandes diámetros de tubería y cabezas de diluvio; por disponer de una sola tubería es más fácil de proteger ante un incendio.

Algunas áreas como el lado inferior de una esfera no pueden recibir suficiente agua durante un incendio; en estos casos se proporciona agua adicional de los monitores fijos de incendio o de las mangueras; por ejemplo, cuando el fuego es en la parte baja de la esfera, las corrientes ascendentes térmicas tienden a tirar el agua lejos de la superficie del tanque en las zonas bajas de la esfera. O bien, cuando se deposita hollín sobre la superficie de la esfera la adhesión de la película de agua disminuye.

- **Sistemas para rociado de agua.**

Los sistemas de pulverización de agua emplean boquillas pequeñas (semejantes a los rociadores de edificios) para producir una fina niebla. Se usan porque las autoridades locales lo solicitan o donde los otros sistemas resultan imprácticos (por ejemplo, zonas con vientos fuertes que no permiten que el sistema de diluvio distribuya equitativamente el agua).



Este sistema puede ser adaptado fácilmente a cualquier recipiente o equipo. Proporciona una mejor distribución del agua al colocar los aspersores sobre una red envolvente (tipo anillo).

Inconvenientes del sistema de rociado. Por manejar tuberías y boquillas de diámetros pequeños (2" o menos) el sistema es más vulnerable ante un incendio y fácilmente puede taparse. En caso de instalar tuberías o boquillas más grandes para tener mayor resistencia contra los incendios; se puede dar una distribución desequilibrada de agua o requerir de mayores flujos de agua y más presión para lograr una cobertura similar. Para evitar que las tuberías se tapen pueden colocarse coladores.

En ambos sistemas se recomienda manejar flujos superiores a los 10 l / min m² de superficie de recipiente. Normalmente, la activación de ambos sistemas es manual, aunque pueden ser automatizados (por medio de válvulas a control remoto o usando diversos sistemas de fusibles).

La red contra incendio ubicada en los tanques esféricos y las bombas debe estar protegida contra este riesgo mediante canalizaciones protegidas (ya sea semienterradas o cubiertas con sustancias ignífugas para que no puedan inflamarse). Su activación puede ser manual ó automática.

También, deberán existir monitores de agua o espuma contra incendios. Preferiblemente dichos monitores deberán poder ser conducidos a distancia ante la imposibilidad de acceso en determinadas condiciones.

5.2.7. Otros sistemas.

- **Línea de purgado de agua.**

Cuando un gas escapa de un tanque, la descompresión que sufre hace que se forme un hidrato (formación de hielo a una temperatura de -5° C) en la zona de la fuga (válvula o línea), esta situación hace que el metal se fragilice y aumente el riesgo de ruptura, fuga y explosión, ya que un golpecito causa que se rompa o desprenda.

Para evitar la congelación de una válvula al purgar, en el fondo del recipiente, se instalan dos válvulas sobre la línea de purgado de agua [Figura 5]. La válvula localizada junto al recipiente será con cuerpo de acero, del tipo cierre de flujo macho, bola o de compuerta; la segunda válvula estará distanciada de la primera, controlará la purga y será de apertura progresiva con cuerpo de acero.



Además, la tubería será de acero de $\frac{3}{4}$ " como máximo, tendrá pendiente hacia su salida, conducirá a un sistema de drenaje seguro y estará protegida por un sistema de anticongelación. Esta área siempre debe estar bien iluminada. En climas fríos, es necesaria una tercera válvula para vaciar el agua, y por lo tanto, disminuir el potencial de congelación en este tramo de tubería.

- **La conexión de agua para inundaciones.**

La conexión de agua para inundaciones, como la que se muestra en la figura 5, se usa cuando hay una fuga de hidrocarburo en la tubería conectada en la parte inferior del recipiente y no es reparada inmediatamente, entonces se introduce agua para desplazar al hidrocarburo hasta que esta se pueda reparar.

- **Capacidad para vaciar rápidamente un recipiente afectado por un riesgo.**

Es necesario prever la evacuación rápida del contenido del recipiente, en el caso de una posible rotura, fisura, fuga incontrolada o por estar expuesto a una importante radiación térmica, a través de la red de tuberías de vaciado hacia un contenedor disponible en una zona segura.

Puesto que uno de los requisitos más importantes de los sistemas de evacuación es la reducción rápida de la presión, las líneas del sistema no limitarán esta función. La línea de evacuación deberá estar prevista para la máxima circulación que pueda esperarse, teniendo en cuenta las condiciones en que sea más urgente la reducción de la presión y la evacuación de los fluidos contenidos en recipientes, como por ejemplo, cuando una parte de la unidad está envuelta en llamas.

Su uso es polémico, porque conforme el líquido es evacuado, aumenta el espacio de vapor, lo cual incrementa temporalmente el riesgo de una BLEVE. Además, se debe vigilar constantemente la presión dentro del recipiente para evitar bajadas súbitas de la presión que hagan que se chupe el equipo.

La eficiencia del sistema depende del tiempo requerido para vaciar la unidad. Lamentablemente, con hidrocarburos ligeros, el tiempo necesario para lograr una presión segura puede ser significativo. La decisión de instalar este tipo de protección siempre deberá ir acompañada de un buen análisis que asegure que es una opción muy recomendable.

- **Vigilancia a distancia.**

La detección oportuna del inicio de un problema permite tener un control más eficaz de la situación. Históricamente, la vigilancia es y ha sido realizada por los operadores de la unidad, sin embargo, en plantas



químicas y en refinerías (principalmente las áreas de almacenamiento de Gas L.P. o zonas de alto riesgo) se han empezado a instalar sistemas de vigilancia automatizados.

Los sistemas de detección de fugas advierten sobre cualquier escape de material; los más comunes son los detectores de hidrocarburos y las cámaras de televisión.

Se recomienda instalar detectores de gas en las zonas donde se manejen sustancias con bajo límite de explosividad y con peso superior al del aire que, en caso de fuga, puedan depositarse sobre el suelo. Para la localización de los detectores de gas se toman en cuenta los posibles puntos de fuga: (bridas, conexiones de tuberías y equipos, toma de muestreo) y la dirección de los vientos.

El detector indica la concentración que hay en el lugar, envía esta señal al tablero de control; en caso de alerta, se enciende la alarma visual y audible de la zona de la falla para determinar que medidas ejecutar; además, algunos detectores pueden ser programados para activar los sistemas de refrigeración y mandar señal directa al centro de operación de emergencias.

En cuanto al área de almacenamiento de licuados no está de más que cada tanque posea su propio detector. La elección del tipo de detector dependerá de la precisión, del presupuesto, etc.

- **Riguroso control periódico de espesores y grado de corrosión.**

Los depósitos que contienen gases licuados a presión deben estar sometidos a un *riguroso control periódico de espesores y grado de corrosión* tanto interior como exterior, con la finalidad de detectar cualquier anomalía que pueda incrementar el riesgo de fuga o falla del equipo. Estas medidas deberán extremarse en las soldaduras por la posible existencia de defectos y por ser éstos los puntos más vulnerables. De acuerdo al código ASME, la inspección de soldaduras será por tintas penetrantes, ultrasonido, etc.

- *Finalmente*, se recomienda que las áreas de almacenamiento siempre estén bien alumbradas para realizar en forma adecuada las operaciones nocturnas, que todos los recipientes metálicos estén aterrizados (cumpliendo con la última versión de la NFPA-77) para evitar descargas eléctricas.

- En caso de falla en el suministro de energía eléctrica, la instrumentación estará acondicionada de forma tal que no permita interrumpir (por mucho tiempo) las funciones de control al presentarse una situación anormal.

- Además, un buen saneamiento de las subestaciones eléctricas puede evitar muchos riesgos.



Para vigilar que estas medidas, y además que también los procedimientos operativos, de mantenimiento; etc. se estén aplicando adecuadamente y para saber como afecta a la seguridad de la planta las modificaciones que se hacen o planean hacerse a los procesos; las industrias recurren periódicamente al uso de las metodologías que se tienen en la actualidad para analizar riesgos.

6. ANÁLISIS DE RIESGOS (Risk Analysis)

6.1. Definición.

Es la actividad dirigida a la elaboración de una estimación (cualitativa o cuantitativa) del riesgo, basado en la ingeniería de evaluación y en técnicas estructuradas para promover la combinación de las frecuencias y consecuencias de un accidente.

Tiene como objetivo realizar un diagnóstico minucioso, entre otras cosas, del diseño del sistema o instalación, las prácticas de operación, las políticas de mantenimiento e inspección y los planes de emergencia; todo esto con el propósito de obtener índices de riesgo e identificar las áreas potenciales de mejoramiento.

6.2. Criterios de Rentabilidad.

Para estas áreas se proponen distintas medidas suplementarias de seguridad que permitan reducir el riesgo actual, cada medida tendrá un costo económico. De acuerdo con los criterios de rentabilidad y los recursos con que cuente la empresa, se decidirá que medidas deben ser implantadas, logrando de esta forma una utilización más efectiva de los recursos disponibles.

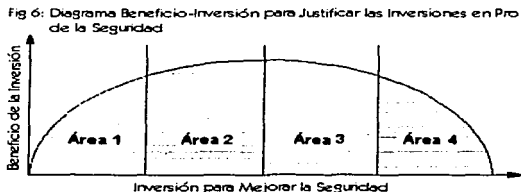
Los criterios de rentabilidad (Ref.12) permiten justificar las inversiones en pro de la seguridad y descartar aquellas que no sean rentables para la empresa; por ejemplo: en la figura 6, estar dentro de las siguientes áreas:

Área 1. Permite tener una mínima inversión con beneficios importantes, lo cual genera una alta rentabilidad económica capaz de competir ventajosamente con otras inversiones posibles.

Área 2. Da beneficios poco superiores al anterior con inversiones mayores pero aún provechosas. Algunas industrias invierten dentro de esta zona por razones éticas, de imagen de la empresa, etc., sin duda, de gran importancia.

Área 3. Indica que la inversión deja de tener una rentabilidad aceptable, más se sigue invirtiendo en seguridad por "la imagen que tiene la empresa".

Área 4. No es recomendable que las inversiones en seguridad sean de tal magnitud, porque no se podría ser competitivo con las industrias del sector. Cuando una empresa cae dentro de esta zona, se recomienda el cese de la actividad industrial.



TESIS CON
 FALLA DE CALIFICACION

Puesto que el análisis de riesgos arroja conclusiones bastante importantes tanto para la industria como para su entorno, es de vital importancia el desarrollo de una ADECUADA EVALUACION DEL RIESGO. Para lograr este objetivo, el análisis deberá considerar los posibles escenarios de accidentes que puedan ocurrir como fuga de vapores de Gas L.P., fuego, etc., y además, lograr una participación activa y positiva de todos los expertos al estar realizando el análisis.

6.3. Etapas básicas para un análisis de riesgos.

6.3.1. Preparación.

- Definición de objetivos y alcances. Los objetivos y el alcance de un análisis deben ser lo más claro, sencillos y formales que sea posible.
- Organización del trabajo. Consiste en designar a las personas que participarán en la evaluación. Se recomienda usar la experiencia y conocimientos de los ingenieros que supervisan directamente el trabajo del personal.
- Recopilación de la información. Se recopila, revisa y actualiza aquella información que pueda ser de utilidad en el estudio de riesgos: puestos de trabajo, características del trabajo, materias primas, equipos, máquinas y daños ocasionados en el pasado. También, se puede aprovechar la existencia de evaluaciones realizadas anteriormente a la empresa.

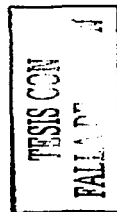
6.3.2. Ejecución del análisis.

- Identificación de riesgos. En esta etapa se identifican los posibles eventos no deseados que pueden conducir a la evidencia de un peligro a fin de definir las hipótesis que podrán acarrear consecuencias significativas y se consigue haciendo las siguientes preguntas: ¿Existe una fuente de daño?, ¿Quién o qué puede ser dañado?, ¿Cómo puede ocurrir ese daño?, y ¿Con qué frecuencia puede ocurrir?
- Evaluación del Riesgo. En esta etapa se realizan al mismo tiempo visitas a las áreas de operación y de administración, para ver en su conjunto, como se relaciona las posibles causas de riesgo: tareas a realizar, su duración y frecuencia; quién realiza el trabajo (permanente y/o ocasional); formación que han recibido los trabajadores sobre la ejecución de sus tareas; instalaciones, maquinaria y equipos utilizados; etc.

Además, para cada peligro detectado se estima su riesgo y su nivel como se observa en la tabla 6, mediante la determinación de las consecuencias, o bien, la severidad del daño y la probabilidad con la que ocurre el hecho.

Tabla 6: Estimación del nivel de riesgo a partir de sus consecuencias y probabilidad.

		CONSECUENCIAS		
		Levemente dañinas	Dañino	Altamente dañinas
PROBABILIDAD	Baja	Riesgo trivial	Riesgo tolerable	Riesgo moderado
	Medio	Riesgo tolerable	Riesgo moderado	Riesgo importante
	Alta	Riesgo moderado	Riesgo importante	Riesgo intolerable



Las **consecuencias** se clasifican en base a la cantidad de daño que producen: *ligeramente, dañino, altamente*. Las consecuencias levemente dañinas son aquellas lesiones leves que no incapacitan al personal afectado y/o que producen pequeñas pérdidas de material. Ejemplo: daños superficiales (cortadas o golpes pequeños), molestias como irritación de ojos, dolor de cabeza, etc.

Las lesiones dañinas son aquellas capaces de causar incapacidades transitorias y/o pérdida grave de material. Ejemplo: laceraciones, quemaduras, fracturas menores, torceduras importantes, sordera, dermatitis, asma, etc. Y las lesiones altamente dañinas son capaces de causar incapacidad permanente, pérdida de la

vida y/o pérdida material muy grave. Ejemplo: fracturas mayores, intoxicaciones, amputaciones, enfermedades crónicas que acorten la vida, etc.

La Probabilidad de que ocurra el daño suele ser: alta, mediana o baja. Así, la *probabilidad alta* indica que el daño ocurrirá siempre o casi siempre; es posible que haya ocurrido en otras ocasiones anteriores; la *probabilidad media* señala que el daño ocurrirá en algunas ocasiones; aunque no haya ocurrido antes no sería extraño que ocurriera y, finalmente, en la *probabilidad baja* el daño ocurrirá raras veces.

6.3.3. Adopción de medidas.

Tabla 7: Adopción de medidas de acuerdo con su tipo de riesgo (Ref. 22).

RIESGO	ACCIÓN Y TIEMPO.
Trivial	No se requiere acción específica.
Tolerable	No se necesita mejorar la acción preventiva. Sin embargo, se deben considerar soluciones más rentables o mejoras que no supongan una carga económica importante. Se requieren comprobaciones periódicas para asegurar que se mantiene la eficacia de las medidas de control.
Moderado	Se deben hacer esfuerzos para reducir el riesgo, determinando las inversiones precisas. Las medidas para reducir el riesgo deben implantarse en un período determinado. Cuando el riesgo moderado está asociado con consecuencias extremadamente dañinas, se precisará una acción posterior para establecer, con más precisión, la probabilidad de daño como base para determinar la necesidad de mejora de las medidas de control.
Importante	No debe comenzarse el trabajo hasta que se haya reducido el riesgo. Puede que se precisen recursos considerables para controlar el riesgo. Cuando el riesgo corresponda a un trabajo que se está realizando, debe remediarse el problema en un tiempo inferior al de los riesgos moderados.
Intolerable	No debe comenzar ni continuar el trabajo hasta que se reduzca el riesgo. Si no es posible reducir el riesgo, incluso con recursos ilimitados, debe prohibirse el trabajo.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Una vez detectados los riesgos, se establecen las medidas preventivas basándose en lo siguiente: Seguir los niveles de riesgo (jerarquización) para establecer la acción y el tiempo de acuerdo con la tabla 7, se establecerá un plan de acción preventivo, se establecerán normas de seguridad de carácter interno y obligatorio, se practicará un mantenimiento preventivo y se proporcionará la información necesaria a los trabajadores.



6.3.4. Seguimiento.

Una vez que se ha planificado la actividad preventiva, se debe asegurar que las acciones y medidas correctivas adoptadas no generen nuevos peligros. Conviene que el seguimiento de esas acciones lo realicen personas de la misma empresa. La evaluación inicial deberá ser actualizada y revisada cada vez que sea necesario.

6.3.5. Registro.

Se debe elaborar y conservar la documentación formal relativa a los resultados y conclusiones más importantes del trabajo realizado en las etapas anteriores.

6.4. Metodologías.

Los métodos para la identificación de riesgos han estado evolucionando continuamente, de acuerdo a las necesidades de la época y sus avances tecnológicos, por ejemplo:

La tecnología que predominaba a principios del siglo XX era muy sencilla; por lo tanto, los métodos de entonces, para la identificación de riesgos eran más fáciles de usar y se basaban en las experiencias (Métodos Comparativos). Con la llegada del hombre al espacio (en la década de los 60's) nació la necesidad de prevenir fallas potenciales en la industria espacial que minimizarán las pérdidas por millones de dólares y vidas humanas. Esto favoreció el desarrollo de metodologías más sistemáticas y formales (como los Métodos Generalizados) que generen resultados más confiables.

Y dado que, en un análisis de riesgos la etapa más importante es la identificación de ellos, ya que si alguna causa no es identificada, no se podrán prevenir las situaciones de peligro que puedan derivar de la misma; se recomienda emplear sólo la(s) metodología(s) -de la gran variedad que existen de ellas- que permitan cubrir de manera más amplia el objetivo propuesto, obtener mejores resultados y optimizar el análisis.

Por esta razón, es importante tener un conocimiento general de los requisitos y beneficios que cada metodología ofrece. Las metodologías de acuerdo con el tipo de resultados que generan, pueden ser:

- Cualitativas. Identifican los peligros existentes dentro del sistema, analizan las causas y consecuencias de forma cualitativa (HazOp, ¿Qué pasa si?, Indices Dow y Mond, Lista de Verificación).
- Cuantitativas. Generan valores de probabilidad de ocurrencia de un evento estudiado a partir de la probabilidad de eventos primarios (FTA, FMEA Y ETA).

En el Cuadro 4 se presenta la clasificación de algunas de las más comunes metodologías (Ref. 15), para la identificación y/o análisis de riesgos, así como, una breve descripción de ellas.

Cuadro 4: Metodologías para el análisis de Riesgos

**Métodos
para la
Identificación
de Riesgos**

- A. **Métodos Comparativos.** Se basan en la experiencia adquirida de la compañía en organizaciones externas a la misma. Algunos de ellos son:
 - Análisis Histórico de Accidentes.
 - Manuales Técnicos Internos, Códigos, Estándares y Normas.
 - Auditorías de Seguridad.
 - Listas de Comprobación (Checklist).
- B. **Índice de Riesgo.** Son métodos directos y simples que permiten la estimación rápida y confiable del orden de magnitud (expresada en valor numérico) de determinados riesgos, en una unidad o área de proceso. No señalan riesgos individuales y permiten jerarquizar las unidades en cuanto a su nivel de riesgo. Los más usados frecuentemente son:
 - Índice Dow.
 - Índice Mond.
- C. **Métodos Generalizados.** Son herramientas de análisis versátiles y de gran utilidad. Proporcionan esquemas de razonamiento aplicables a cualquier situación; entre ellos están:
 - Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).
 - Análisis de Modos de Fallo y Efectos (FMEA).
 - Análisis de Árbol de Fallos (FTA).
 - Análisis de Árbol de Sucesos (ETA).
 - Análisis de Error Humano.

6.4.1. Análisis Histórico de Accidentes.

Es una metodología sencilla de aplicar, identifica riesgos concretos y reales al emplear la información histórica proporcionada sobre accidentes industriales en empresas con instalaciones análogas o sustancias similares a la empresa del accidente.

Generalmente, la información documentada facilita la identificación y el registro de las posibles secuencias de eventos individuales para los accidentes documentados al proporcionar los siguientes datos:

- La identificación del tipo de accidente.
- Las circunstancias en las que tiene lugar.
- Naturaleza y cantidad de la(s) sustancia(s) involucrada(s).
- El lugar del accidente.
- La estimación de daños a las personas y a la propiedad.



Las fuentes de información para este método son diversas, aunque no todas son confiables o de fácil acceso, las más fidedignas, completas y actualizadas son los Bancos de Datos sobre Accidentes. En la tabla 8 se mencionan algunos ejemplos.

Tabla 8: Ejemplos de Bancos de Accidentes (Ref. 22).

REFERENCIA	AUTOR/INSTITUCIÓN	DESCRIPCIÓN
Loss Prevention in the Process Industries	Frank P. Lees	El volumen 3 posee algunos estudios de casos de grandes accidentes industriales.
FACTS	TNO, Holanda	Banco de datos de accidentes con productos peligrosos.
MHIDAS	Safety & Reability Directorate, Reino Unido	Banco de datos de accidentes industriales mayores.
CADAC	CETESB	Banco de datos de accidentes ambientales en São Paulo, Brasil

Sirve para medir los resultados de los programas de seguridad y de retroalimentación a códigos y estándares. Además, mantiene el nivel de conciencia de seguridad en todo el personal. Finalmente, esta técnica permite establecer medidas correctivas y preventivas en el diseño de unidades productivas similares o modificar las ya existentes, pero debe ser complementada con otras porque no permite la identificación de todos los riesgos puesto que los casos a analizar son mínimos y no siempre, incluye todos los eventos sobre el accidente.

6.4.2. Manuales Técnicos Internos.

Son elaborados por empresas químicas de cierta importancia; con la intención de especificar como diseñar, distribuir, instalar, operar, etc, los equipos usados dentro de la planta. Su contenido puede variar; pero siempre cumple con la legislación local y nacional; así como, con los estándares habituales de las distintas ramas de ingeniería.

6.4.3. Códigos y Normas.

Tienen el propósito de indicar qué medidas de control, cuándo, cómo y dónde se deben de implantar para tratar de eliminar o mitigar riesgos. Códigos y Normas como:

API - American Petroleum Institute

NFPA - The National Fire Protection Association

ASME - American Society of Mechanical Engineers

ANSI - American National Standard Institute

NEC - National Electric Code

NOM - Norma Oficial Mexicana



Por mencionar algunos; suministran una experiencia complementaria a la que pueda haber documentado una empresa determinada.

6.4.4. Auditorías de Seguridad.

Las Auditorías de Seguridad identifican desviaciones contra lo establecido en los códigos y normas al juzgar el estado del material, la instrumentación, los procedimientos de mantenimiento y operación, el equipo de emergencia, además de los efectos que generan los cambios de equipo o en el proceso dentro de una planta. Su uso es más frecuente al acercarse al tiempo de vida útil de la planta.

Para su realización se deben hacer inspecciones de campo, contando con la participación del personal de las áreas de operación, mantenimiento, seguridad y proceso. Al final de la auditoría, el analista presenta un listado con las acciones específicas necesarias, justifica estas recomendaciones; asigna responsables de aplicar las medidas correctivas y fija fechas límite compromiso.

6.4.5. Lista de Comprobación (Safety Checklist).

Permite identificar directamente riesgos reales como carencias de seguridad en algunos casos o detectar que áreas requieren un estudio más profundo. Asegura que se cumplan las regulaciones nacionales e internacionales. Puede utilizarse como "tamiz" primario de riesgos conocidos.

Es fácil de aplicar, se orienta hacia riesgos específicos, no requiere capacitación formal y tiene un costo mínimo en su desarrollo y aplicación. Se puede usar en cualquier etapa de la industria. Requiere la elaboración de una serie de preguntas claras, objetivas y orientadas al sistema de estudio, que incluyan:

1. Códigos y Normas vigentes y aplicables,
2. Información del proceso como: procedimientos, sustancias, estado y funcionamiento del equipo.

El grado de detalle de la lista de preguntas dependerá de las necesidades del grupo; y esta sujeta a la experiencia de los mismos. Concluido el listado, las preguntas serán comparadas con la realidad del sistema, lo que al final, permitirá reconocer en donde las cosas se están haciendo correctamente (marcada con un SI), incorrectamente (marcada con un NO) y en algunos casos NO APLICA O FALTA ESTUDIO.

Requiere de actualización constante y puede crear dificultades al aplicarla en instalaciones existentes construidas bajo estándares distintos; su aplicación puede volverse tediosa y mecánica.

6.4.6. Índice Dow y Mond.

Son metodologías sencillas de aplicar y proporcionan una estimación rápida y fiable del orden de magnitud de determinados riesgos (índice de riesgo). Este valor numérico se calcula tomando en cuenta aspectos relacionados con los riesgos intrínsecos, las cantidades manejadas, condiciones de operación, etc.

Para analizar una planta, ésta debe ser dividida en unidades de proceso que serán estudiadas individualmente para atribuirles un valor numérico (índice) que representará el grado de su peligrosidad y cuando todas las unidades posean un índice se podrán tomar decisiones en base a su peligrosidad.

Para su desarrollo se requiere el apoyo de ingenieros familiarizados con el proceso y elementos del departamento de seguridad; tener acceso a: información del proceso, plano de localización de equipo actualizado y los formatos especiales o guías técnicas publicadas para el empleo de estos métodos. Este puede usarse en todas las etapas de la planta.

Ambos métodos, básicamente consisten de las siguientes etapas:

1. Selección de las unidades de proceso.
2. Determinación del factor material.
3. Determinación de los factores de riesgo concurrentes,
 - a) riesgos generales (F_1) y
 - b) riesgos especiales del proceso (F_2).
4. Determinación del factor de riesgo de la unidad (F_3).
5. Cálculo del índice de incendio y explosión (IIE).
6. Cálculo del área de exposición
7. Cálculo del máximo daño probable en la propiedad (MDPP).
8. Estimación de los días de parada para reparar o sustituir el equipo dañado.

La diferencia entre ambos índices se encuentra en los aspectos que cada uno considera para la determinación del factor material; el Dow considera la inflamabilidad de las sustancias y su reactividad, y el Mond además de los anteriores, agrega el aspecto de toxicidad. El índice Dow en la 6ta. edición toma en cuenta aspectos de toxicidad al incluir la penalización específica.



6.4.7. Análisis ¿Qué pasa Si...? ("What If").

Es una metodología creativa, poco estructurada y fácil de usar que se realiza en equipo. Identifica los eventos de riesgos, sus causas, consecuencias y establece las medidas de control, sin importarle "el como" de cada situación.

El equipo de trabajo se integra por dos o tres expertos en cada una de las especialidades (ingeniería eléctrica, protección contra incendio, seguridad y operación) para evitar omisiones importantes. La calidad del análisis será proporcional al grado de experiencia que tenga el equipo de análisis.

Se usa en áreas concretas como: seguridad eléctrica, protección contra incendios, instrumentación de equipos, almacenamiento, etc., para analizar modificaciones o procedimientos de mantenimiento rutinarios. Y puede aplicarse al proceso completo o a secciones del mismo en todas las etapas de la planta.

Un análisis ¿Qué pasa si...? generalmente consiste en:

1. Elegir que categorías riesgo público, ocupacional y económico de consecuencias serán consideradas,
2. Definir los límites para el estudio. Decidir ¿en qué lugar se van a producir las consecuencias?;
3. Tener disponibles y actualizados los DTI's, DFP's, Plot Plant y procedimientos de operación,
4. Elaborar una lista de preguntas (con sugerencias de los posibles sucesos iniciadores y fallos, a partir de los cuales se puede obtener una desviación peligrosa) llamadas "¿Qué pasa si...?".
5. Revisión real. Consiste en ubicar cada pregunta, identificar la condición insegura de operación, contestarla y sugerir las posibles soluciones;
6. Entrega del reporte. Debe incluir la pregunta, las posibles consecuencias y las recomendaciones.

6.4.8. Análisis de Modo de Fallos y Efectos (Failure Modes and Effects Análisis-FMEA).

Es una metodología sistemática, deductiva y a menudo de duración considerable, que identifica una sola falla que puede ser o contribuir a la causa del accidente. No examina los errores de los operadores.

La **falla** es un síntoma, una condición o un modo de operación que hace que el equipo falle. Puede identificarse con la pérdida de función del componente (deja de actuar), función prematura (actúa prematuramente, antes de que se produzca la demanda) o característica física indeseada (ejemplo, una fuga pequeña observada durante una revisión). El **efecto** es el accidente o respuesta del sistema a la falla.



Los pasos para desarrollar un FMEA son:

- 1º. Definir las fronteras funcionales del estudio que dependerán del grado de detalle que se solicite.
- 2º. Elegir un formato adecuado para el estudio.
- 3º. Identificación de todos los modos de fallo relevantes y los efectos que ellos producen. Consiste en elaborar una lista con todos los modos de falla que cada componente (válvulas, líneas, bombas, etc.) de los equipos pueda presentar y considerar todos los mal funcionamientos (ruptura, taponamiento, etc.) que alteren la operación normal; que describa también, los efectos inmediatos de la falla en el lugar que suceda y los efectos predecibles sobre otro equipo y el mismo sistema o proceso.
- 4º. Finalmente, al completar el formulario se deben discutir los casos que requieran un estudio posterior y se proponen o recomiendan las acciones correctoras para los efectos relevantes.

El equipo de trabajo estará integrado por un especialista en control, un ingeniero de sistemas familiarizado con el diseño y operación de la instalación en estudio y, un analista de riesgos con experiencia en FMEA, con conocimientos en control y diseño mecánico - eléctrico.

Puede ser aplicada a procesos y sistemas complejos en todas las etapas de la planta. La información requerida -lista de equipo, DTI's, diagramas eléctricos, diagrama de lógica instrumental, información sobre controles, etc.- permitirá comprender el diseño y la operación de un componente, así como, su interacción con el sistema del que forma parte.

6.4.9. Análisis de Riesgos y Operabilidad (Analysis Hazard and Operability - HazOp).

El HazOp será desarrollado con la imaginación de un grupo de trabajo multidisciplinario que visualizará las rutas en que la planta puede operar de manera indeseable; pero quién tendrá la decisión final de la aplicación o no, de las recomendaciones generadas, es la Gerencia.

El proceso de aplicación básicamente consiste en:

- Definición de objetivos y alcance
- Selección del grupo de trabajo
- Preparación del análisis
- Ejecución del análisis
- Seguimiento y
- Registro de resultados.



El alcance y los objetivos deben ser lo más claros, sencillos y formales que sean posibles. El grupo de trabajo no debe ser muy grande y estará integrado por ingenieros altamente familiarizados con la disciplina que representan dentro del equipo multidisciplinario [Figura 7].

- Se debe exhortar que los miembros del grupo tengan una actitud positiva y constructiva, dado que los resultados dependen de su inventiva e imaginación.

El líder del grupo establecerá la puntualidad, estimulará la participación activa, positiva y constructiva de los miembros del grupo al orientar la discusión para la generación de ideas y mantendrá la concentración en el estudio al evitar discusiones innecesarias.

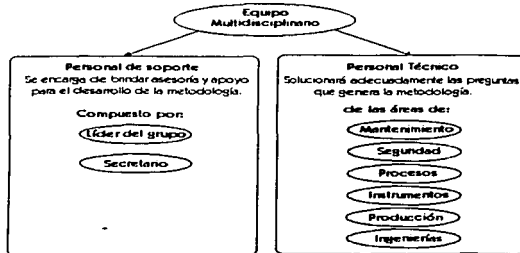


Fig. 7. Equipo de trabajo para las sesiones HazOp.

No es importante que tenga un gran conocimiento de la planta, pero sí es básico que posea experiencia en análisis HazOp para saber dirigir al grupo.

Durante la etapa* de preparación se seleccionan los nodos (en orden jerárquico) en los que se aplicará la técnica HazOp,

se estiman las horas hombre necesarias, y se solicita un lugar para realizar las sesiones de trabajo, que preferentemente este bien iluminado, ventilado, libre de ruido y sin distracciones.

También, se trata de conjuntar, revisar, actualizar y tener disponible la información, que en cierto momento del estudio pueda requerirse, por ejemplo, información sobre:

- Los registros históricos de incidentes ó accidentes, los registros de calibración, prueba de líneas y válvulas de relevo (PSV's).
- Los manuales de operación y mantenimiento, el control automático existente, los programas de capacitación y adiestramiento, además de los planes de emergencia. Esta información será revisada de acuerdo a las normas y estándares que apliquen con el fin de establecer recomendaciones específicas durante y al final del estudio, evitando generalidades.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN



- Los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) flujo de proceso (DFP's) para cada nodo seleccionado. Es recomendable, realizar un recorrido en el área con el grupo HazOp, para checar que el DTI este completo y se puedan observar las condiciones actuales del área a analizar.

La ejecución del análisis requiere la aplicación correcta de los siguientes conceptos básicos (Ref.15):

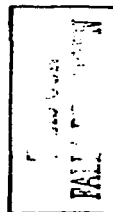
1. **Nodo.** Subdivisión de un sistema de proceso, su origen esta donde comienzan las nuevas propiedades del material procesado, y termina, donde hay un nuevo cambio de propiedades. Debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y lo suficientemente grande para ser significativo.
2. **El propósito o intención de diseño.** Describe la forma en que se espera que funcione el elemento analizado. Toma varias formas (recipiente, línea, bomba, etc.)
3. **Parámetro.** Es una manifestación física o química del proceso [Tabla 9].
- **Palabras clave o guía.** Son palabras sencillas que se usan para calificar el propósito; guían y estimulan el pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones [Tabla 10].
5. **Desviaciones.** Son los cambios que se presentan al propósito y son descubiertas por la aplicación sistemática de las palabras clave a los parámetros del proceso.
6. **Causas.** Estos son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones. Cuando una desviación tiene una causa real, se considera como una desviación significativa.
7. **Consecuencias.** Son los resultados que se obtendrían al presentarse algunas desviaciones.
8. **Índice de riesgo.** Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad.

Tabla 9: Parámetros más usuales al desarrollar la metodología HazOp (Ref.15):

Presión	Temperatura	Nivel	Flujo	Viscosidad
Mezcla	Adición	Separación	Reacción	ph
Relevo	Aterrizamiento	Instrumentación	Contenedor	Estructura
Información	Acción	Tiempo	Secuencia	Seguridad

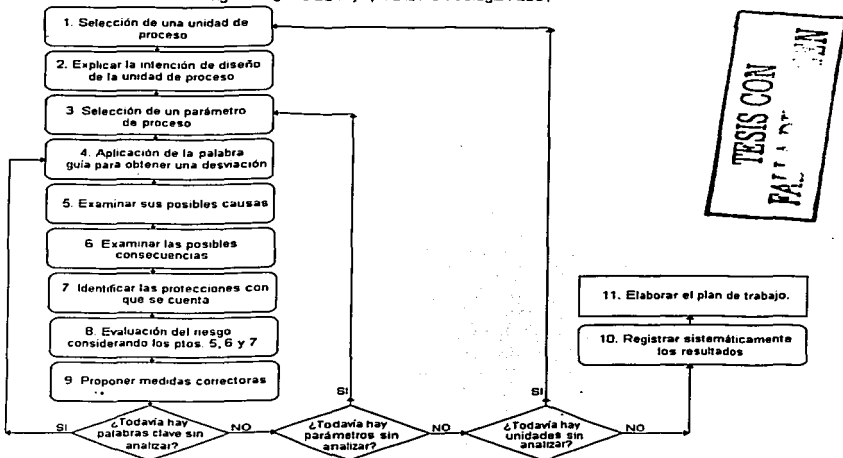
Tabla 10: Palabras clave empleadas en la metodología HazOp:

PALABRA CLAVE	SIGNIFICADO
No	La completa negación de la intención de diseño
Además de / También como	Aumento cualitativo
Más / Menos	Aumento o disminución cuantitativa
Parte de	Disminución cualitativa
Inverso	Efecto contrario al deseado
En vez de / Otro que	En lugar de obtener el efecto deseado ocurre algo diferente



El análisis HazOp se efectúa siguiendo los pasos incluidos en el diagrama de flujo de la figura 8.

Fig. 8. Diagrama de Flujo para la Metodología HazOp.



TESIS CON
PALABRA GUÍA

El registro de resultados será tabular. Incluirá el número de identificación del equipo o línea, la desviación (la palabra guía más el parámetro), sus causas, consecuencias, los mecanismos de protección existentes con su nivel de prioridad (de acuerdo al riesgo encontrado) y las acciones recomendadas para corregir la falta.

El empleo de esta metodología permite:

- La identificación, de manera sistemática, de toda posible desviación de las condiciones de operación, buscando las causas y posibles consecuencias de cada desviación, las cuales aunque sean o no peligrosas, pueden comprometer la capacidad de la planta para alcanzar la productividad del diseño.
- Facilitar la semicuantificación de los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias ó probabilidades y la gravedad.

- Evaluar y analizar los sistemas de protección que se tienen al momento del análisis.
- Proponer recomendaciones a implantar para mejorar las salvaguardas anteriores.
- Facilitar la toma de decisiones al clasificar y jerarquizar las recomendaciones de acuerdo al nivel de riesgo encontrado (prioridad otorgada).
- Obtener más y mejores resultados al realizar el trabajo con un equipo multidisciplinario.

Esta metodología presenta las siguientes desventajas:

- Los resultados dependen directamente de la inventiva e imaginación de los miembros del grupo.
- La información requerida es abundante y necesita estar ACTUALIZADA.
- Para ofrecer un estudio de riesgos completo requiere la aplicación de la técnica de análisis de árbol de fallas y análisis de consecuencias para cada escenario de accidente identificado.

6.4.10. Análisis de Árbol de Fallas, AAF (Fault Tree Analysis, FTA).

Es un método estructural y sistemático que emplea el razonamiento deductivo, diagramas gráficos y símbolos de lógica booleana, para determinar como puede tener lugar un accidente al descomponerlo en sus elementos contribuyentes, ya sean estos, fallas de equipos, errores humanos y circunstancias asociadas.

Si el diagrama sólo se limita a la lógica de eventos, el resultado es una representación lógica (cualitativa) en la que aparecen cadenas de eventos (combinaciones de fallas y/o errores) capaces de generar el suceso culminante (accidente específico) que ocupa la cúspide del árbol.

Si se desea obtener resultados cuantitativos, cada una de las ramas del árbol debe desarrollarse hasta los eventos primarios en los que sea fácil asignar una frecuencia o probabilidad con una incertidumbre razonable, que permita procesarlos matemáticamente con las otras fallas para obtener la probabilidad del evento culminante o tope. El evento tope se genera con la interacción de las fallas y errores, una falla: es la disfunción de un componente que será reparado para funcionar normalmente otra vez y un **error**: es el mal funcionamiento a causa de una falla, que deja de ser si ésta se corrige.

Las fallas y errores pueden ser:



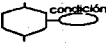





- Primarias. Sucede en condiciones normales de operación a velocidades o cargas de diseño, y pueden tener su origen en un mal diseño, defecto en la fabricación o deterioro del servicio.

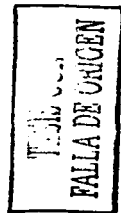


- **Secundarias.** Suceden cuando el equipo está sujeto a cargas o demandas superiores a aquellas para las que fue diseñado (efectos derivados de "causas de fuerza mayor").
- **De comando.** Cuando la función del componente no es la deseada; no son responsabilidad del equipo, sino del que lo controla.

Las personas que desarrollen el Análisis del Árbol de Fallos (AAF) deben poseer un amplio conocimiento en plantas de proceso y tener acceso libre a los DTI's actualizados, procedimientos de operación, formas de falla y a la base de datos con la probabilidad de las formas de fallas.

La tabla 11: muestra los símbolos más empleados en la construcción de un árbol de fallas:

	Puerta de Decisión "O" Representa la operación lógica que implica que el suceso de salida se verifica siempre que se cumpla al menos uno de todos los sucesos de entrada.
	Puerta de Decisión "Y" Representa la operación lógica que exige que todos los sucesos de entrada se verifiquen para que tenga lugar el suceso de salida.
	Puerta de Inhibición El evento de salida ocurre cuando el evento de entrada sucede y la condición de inhibición es cubierta.
	Evento Primario Una falla de componente que no requiere desarrollo posterior. Es la mínima resolución de un árbol de fallas.
	Evento Intermedio Un error que resulta de las interacciones de otros errores, que son desarrollados en el árbol.
	Evento No Desarrollado Una falta que no se examina más por falta de información o su desarrollo se sale del objetivo de estudio.
	Transferencia de Entrada Indica que el desarrollo del árbol es continuación de otra parte (ejemplo: otra hoja por falta de espacio).
	Transferencia de Salida Indica que el desarrollo del árbol es continuado en otra parte (ejemplo: otra hoja por falta de espacio).



Puede aplicarse a un solo sistema o a sistemas interconectados, ya sea en la etapa de diseño y/o de operación. Es de especial utilidad en el análisis de procesos nuevos o desconocidos de los cuales no existe historia, pero existe una base de datos confiable de otras instalaciones similares. También permite, analizar los efectos de cambios o adición de componentes a un sistema.



Las ventajas que presenta esta metodología son las siguientes:

- Es uno de los mejores métodos para encontrar las causas de un evento, siguiendo interrelaciones complejas.
- Emplea símbolos propios de la lógica booleana para descomponer las causas de un evento culminante en fallas básicas de equipos o errores humanos.
- Comparado con el análisis de modo de fallas y efectos o el análisis HazOp, sólo las secuencias de eventos que conducen a accidentes son investigadas, reduciendo la cantidad de trabajo.
- Puede ser empleado en sistemas sencillos.
- Investiga una combinación de fallas en lugar de fallas sencillas
- Incorpora el error humano.
- Muestra los efectos aditivos al accidente.

Las desventajas que representa esta metodología son las siguientes:

- Requiere de un conocimiento muy completo del caso de estudio.
- Requiere de entrenamiento para usarlo. Aplicarlo en sistemas complejos, puede causar dificultades matemáticas para el principiante.
- El árbol puede ser difícil de interpretar, ya que diferentes representaciones dan diferentes resultados.
- En instalaciones grandes o complejas puede resultar costoso ya que requiere de mucho tiempo.

Como es posible que no todas las causas y cadenas de evolución sean identificadas es recomendable combinar el AAF con otras técnicas que aumenten la fiabilidad de la identificación.

6.4.11. Análisis de Árbol de Eventos (Event Tree Analysis-ETA).

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

Es muy útil, porque al considerar la respuesta del personal y de los sistemas de seguridad en relación con la presentación de la falla, de alguna forma evalúa dichos sistemas mitigantes. Se puede aplicar durante todas las fases de una planta. El equipo de trabajo se formará con ingenieros de la planta (dos a cuatro) que



tengan amplio conocimiento de los eventos iniciadores (fallos de equipos y errores humanos), de los procedimientos y equipos de mitigación.

Se puede desarrollar de acuerdo a las siguientes etapas:

1. Identificación de sucesos iniciadores relevantes. El evento iniciador puede ser cualquier desviación importante, provocada por un fallo de equipo o por un error humano. Es recomendable que la desviación no este tan cerca de las consecuencias.
2. Identificación de las funciones de seguridad diseñadas para responder al suceso iniciador. Incluye sistemas de respuesta automática, alarmas para alertar a los operadores y las acciones a tomar para limitar los efectos del evento inicial. Deben identificarse en el orden cronológico en que van a responder.
3. Construcción del árbol de eventos. El evento inicial se escribe en el lado izquierdo de la página, a continuación, en la parte superior y, en orden cronológico, una lista de las funciones de seguridad. Enseguida se analiza si cada función de seguridad falla o no, - fracaso o éxito -, y la forma en que afectaría el curso del accidente en cada caso. *Si el curso del accidente es afectado, se deberán construir las ramas del Árbol de Eventos: la rama superior corresponderá al éxito y la rama inferior al fracaso. Si la función de seguridad no afecta el curso del accidente, no se ramificará, y se pasará a la siguiente función.*
4. Descripción de las cadenas de acontecimientos resultantes. La secuencia es el resultado de los caminos que pueden ocurrir a partir del evento inicial. Algunas de las secuencias representan un retorno a la normalidad y otras, como las que resulten en fallas, deberán ser analizadas para determinar cómo mejorar la respuesta al evento a fin de minimizar la probabilidad de falla.

Al final, se obtiene un diagrama en forma de árbol lógico para dicho evento inicial con sus respectivos efectos finales en forma ramificada (líneas de evolución) y cronológica. Los resultados son cualitativos, pero si se cuenta con las probabilidades de los eventos o se pueden estimar por medio de modelos de análisis de consecuencias se obtienen resultados cuantitativos.

6.4.12. Análisis del Error Humano.

Su objetivo es identificar las áreas o situaciones que pueda conducir al error humano mediante una evaluación sistemática de todos los factores que influyen el comportamiento y el desarrollo del personal de la planta. Por requerir de habilidad y conocimiento de los factores humanos del comportamiento y la fiabilidad humana, estos análisis son realizados por expertos externos.



Al final del análisis se obtiene un listado de errores humanos que pueden ocurrir durante la operación normal o de emergencia; con los factores que contribuyen a los errores y las propuestas de modificaciones para la eliminación o reducción de dichos errores.

6.5. Análisis de Consecuencias.

Una vez que se han creado las posibles hipótesis sobre los escenarios de accidentes identificados en la primera etapa del análisis de riesgos, y dado que la magnitud de las consecuencias de un accidente no solo se cuantifica en muertos o en dinero, también en heridos o acciones a largo plazo sobre la población, de difícil o imposible estimación, o de contaminación de áreas más o menos extensas.

Cada hipótesis debe ser estudiada en cuanto a sus posibles impactos y daños causados por esas consecuencias. Para estimar los efectos de estos accidentes se utilizan modelos matemáticos cuyas ecuaciones comprenden las características físicas y químicas de las sustancias en cuestión, las condiciones del escape, la estructura del terreno, las condiciones meteorológicas, etc.

Como anteriormente se ha señalado; generalmente, cuando hay una pérdida de contención de un fluido los resultados que se pueden esperar son: incendio, explosión o difusión de un producto tóxico. Y, a su vez, cada uno de estos accidentes presenta una serie de posibilidades: el incendio puede ser de líquido en un depósito o en una balsa, de un chorro de gas o vapor, o de una nube de vapor.

Es interesante citar las explosiones de sustancias oxidables, ya que cuando se encuentran finamente divididas en pequeñas partículas, pueden experimentar una combustión rapidísima originando auténticas explosiones (deflagraciones) de gran poder destructivo. Esto suele pasar, sin embargo, en el interior del equipo e instalaciones y no en el exterior.

En el escape de un gas o un vapor, la situación dependerá de la velocidad de salida. Si ésta es inferior a unos 20 m/s puede formarse también una nube o, si es un gas combustible, puede quemar como un soplete. Si la velocidad es superior a aproximadamente 20 m/s, la turbulencia originada, totalmente desarrollada, impide la formación de una nube de grandes dimensiones y el producto es dispersado en la atmósfera o, si es combustible, puede inflamarse formando un gigantesco soplete (dardo de fuego) capaz de destruir otras instalaciones.



Una vez conocidos los efectos del accidente (radiación, onda de presión, etc.) hay que establecer cuáles serán las consecuencias sobre la población, las instalaciones y el medio ambiente.

Algunos escenarios de accidentes pueden evaluarse mediante los siguientes modelos de cálculo:

- Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico:
 - Incendio de charco (POOL FIRE)
 - Llamada (FLASH FIRE)
 - Dardo de fuego (JET FIRE)
 - BLEVE/Bola de fuego (FIREBALL)
- Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico:
 - Explosión de nube inflamable no confinada (UVCE)
 - Explosión confinada de vapores (CVE)
 - Estallido de recipiente a presión
 - Explosión BLEVE
- Escenarios que determinan fenómenos peligrosos asociados a la concentración de la sustancia emitida en el ambiente (de tipo térmico para sustancias inflamables y de tipo químico para sustancias tóxicas)
 - Chorro turbulento (JET)
 - Dispersión instantánea (bocanada)
 - Dispersión continua (emisión prolongada en el tiempo)
 - Dispersión transitoria (emisión limitada en el tiempo, a menudo variable)
 - Dispersión neutra o gaussiana (dispersión de gases o vapores con densidad similar al aire)
 - Dispersión de gases pesados (la gravedad influye de manera destacada en la evolución de la nube en los primeros momentos).

Las consecuencias sobre la población pueden tener características diversas; una posible clasificación es la siguiente:

- **Radiación térmica:** quemaduras de diversa gravedad, muerte por quemaduras.
- **Onda de choque:**
 - a) Daños directos:
 - rotura de tímpano
 - aplastamiento de la caja torácica
 - b) Daños indirectos:
 - por desplazamiento del cuerpo
 - por impacto contra el cuerpo de fragmentos
 - por heridas ocasionadas por astillas de vidrio
- **Productos tóxicos:** intoxicación más o menos grave, muerte por intoxicación.

Las consecuencias sobre el equipo se deducen de valores tabulados (caso de las ondas de choque) o de determinados modelos semiempíricos (caso de la radiación térmica). Otra forma de señalar los efectos de accidentes sobre el equipo (no sobre personas) o de estudiar de la sensibilidad de una instalación frente a un determinado accidente es aplicando "índices de riesgo" (los cuales tienen una base estadística/experta).

Tabla 12: Parámetros que se deben considerar en un estudio de riesgo (Ref. 17).

	TOXICIDAD (concentración)	INFLAMABILIDAD (radiación térmica)	EXPLOSIVIDAD (sobrepresión)
Fenómeno Peligroso Tipo	Químico	Térmico	Mecánico
Zona de Alto Riesgo	IDLH	5 KW/m ² o 1,500 BTU/ft ² h	1.0 lb/in ²
Zona de Amortiguamiento	TLVs o TLV _s	1.4 KW/m ² o 440 BTU/ft ² h	0.5 lb/in ²

NOTAS:

1. En modelaciones por toxicidad, deben considerarse las condiciones meteorológicas más críticas del sitio con base en la información de los últimos 10 años, en caso de no contar con dicha información, deberá utilizarse estabilidad F y velocidad del viento de 1.5 m/s.

2. Para el caso de simulaciones por explosividad, deberá considerarse en la determinación de las zonas de alto riesgo y amortiguamiento el 10% de la energía total liberada.

Para definir y justificar las zonas de seguridad entorno a una instalación el Instituto Nacional de Ecología, INE, indica los parámetros que se deben incluir en la elaboración de estudios de riesgo [Tabla 12].

También, se estudian simultáneamente los acontecimientos externos, tanto de origen natural (terremotos, inundaciones) como artificial (explosiones, incendios o nubes procedentes de plantas vecinas, accidentes de carretera) que sean capaces de originar posteriores emergencias internas.



7. PEMEX hacia el futuro.

Para mejorar el desempeño en los centros de trabajo en las áreas de Seguridad Industrial, Salud Ocupacional y Protección Ambiental, las empresas líderes del mundo implantan Sistemas de Administración capaces de proporcionar las herramientas administrativas y técnicas de control que les permitan mantenerse dentro de la alta competencia que genera el actual proceso de globalización.

Dentro de este contexto Petróleos Mexicanos (PEMEX) ha desarrollado e implantado un sistema de Administración que le permita aumentar su desempeño y dar cumplimiento a su política institucional de Seguridad Industrial y Protección al Ambiente.

7.1 Valores de la empresa.

PEMEX realiza una campaña permanente de sensibilización en todo su personal sobre las actitudes más importantes con las que siempre se debe trabajar, esto es:

HONESTIDAD: Proceder con honradez y rectitud desarrollando las actividades con respeto, responsabilidad, siendo congruentes entre el pensar y actuar.

SEGURIDAD: Actitud y acción de todos para darle la máxima importancia a la seguridad, a través de un enfoque preventivo para conservar la salud, la integridad de los compañeros, las instalaciones y la confianza de la comunidad.

CONCIENCIA ECOLÓGICA: Conciencia y acción para reestablecer y preservar nuestro medio ambiente limpio, operando y manteniendo las instalaciones de acuerdo con los reglamentos y normas ecológicas vigentes.

CALIDAD PRODUCTIVIDAD: Actitud y compromiso para hacer las cosas bien, a la primera, que permita mejorar la productividad y rentabilidad del centro de trabajo.

TRABAJO EN EQUIPO: Convicción de que solo con el esfuerzo conjunto se alcanzarán los objetivos de la empresa, por lo que se deben compartir y transmitir con sinceridad y sin egoísmos los conocimientos y experiencias, asegurando con ello la permanencia de la empresa, garantizando las oportunidades de trabajo para las actuales y futuras generaciones.

DESARROLLO HUMANO: Espiritu de superación y auto-desarrollo que busca el bienestar integral del individuo y de su familia.



LIDERAZGO: Ejercicio de la autoridad basada en el fortalecimiento de relaciones humanas efectivas examinadas al estímulo del logro, competencia positiva y satisfacción de triunfo. *Hacer que los demás hagan las cosas que uno desea que hagan y que estén convencidos de hacerlas.*

INNOVACIÓN: Creatividad, imaginación y disciplina para impulsar en cada actividad y proceso de la refinería el mejoramiento continuo.

NACIONALISMO: Compromiso con el progreso del país y con PEMEX, desempeñando nuestro trabajo con talento e imaginación.

LEALTAD: Respeto incondicionalmente a los valores, principios y normas que rigen nuestra empresa. Orgullo de ser trabajador petrolero.

7.2. Visión

La política Institucional de la Seguridad Industrial y la Protección Ambiental de PEMEX refleja su visión y objetivos como empresa, además de concentrar todas y cada una de las acciones, objetivos y metas relativas a la Seguridad Industrial y la Protección Ambiental.

Así, dentro de la visión de PEMEX (Ref. 21), se resalta:

- Su compromiso por mantener una conciencia sobre la Seguridad Industrial y la Protección Ambiental, e integraría como parte de la cultura institucional.
- Su buen desempeño en Seguridad Industrial y Protección Ambiental permitirá producir valor económico, asegurando la productividad del personal y los activos.
- En general, buscará desarrollar sus actividades de forma que coexistan sus objetivos económicos con los de Seguridad en sus trabajadores e instalaciones sin causar tanto daño al medio.

7.3. Política Interna.

La preocupación de PEMEX por ser una empresa más segura y competente, se ve reflejada altamente en los objetivos de su política empresarial, los cuáles son:

- a. **Custodia:** Se compromete a usar eficientemente en todas sus actividades, los recursos de la Nación que tiene a su cargo.
- b. **Seguridad Industrial y Salud Ocupacional:** Se compromete a proteger la Salud y Seguridad en sus empleados, contratistas, visitantes, comunidades adyacentes e instalaciones.
- c. **Administración de Recursos Naturales:** Se compromete a explotar de manera sustentable los recursos no renovables, evitando en lo posible dañar el ambiente.



- d. **Asignación de recursos:** Se compromete a proporcionar los recursos humanos, materiales y económicos necesarios para alcanzar todas las metas señaladas en su política.
- e. **Administración de Riesgos:** Mediante la administración, vigilancia y evaluación busca reducir el riesgo en todas sus actividades, además, elaborará planes de respuestas a emergencias que le permitan responder adecuadamente ante una emergencia.
- f. **Cumplimiento:** Se refiere a vigilar el cumplimiento real de la normatividad vigente, así como, de sus políticas internas en materia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental.
- g. **Capacitación y Aprendizaje:** Se compromete a capacitar a sus trabajadores continuamente, tanto en la correcta ejecución de sus actividades como en materia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental. Además de aprovechar la experiencia operacional para la prevención de accidentes.
- h. **Integración con la Cultura y Funciones de PEMEX:** La administración de la Seguridad Industrial y Protección Ambiental formarán parte de todos los procesos de gestión de PEMEX.
- i. **Interacción con las comunidades:** Mediante la comunicación e información sobre posibles riesgos potenciales que puedan generar un impacto en las comunidades circunvecinas, PEMEX busca la aceptación y confianza de la sociedad.
- j. **Relaciones con partes interesadas:** PEMEX promoverá y exigirá la administración responsable de la Seguridad Industrial y Protección Ambiental en sus contratistas y proveedores.
- k. **Responsabilidad:** El buen desempeño en la administración, manejo de la Seguridad Industrial y Protección Ambiental es responsabilidad de cada empleado de PEMEX, en forma individual y colectiva.

El cumplimiento de esta política, junto al uso de buenas prácticas administrativas y la aplicación correcta de la Normatividad vigente, permitirán que PEMEX sea líder Nacional y mundial en los aspectos relativos a la Seguridad Industrial y Protección Ambiental. Para alcanzar este propósito, se requiere tanto el compromiso y esfuerzo de todos sus trabajadores, como el fomento de una cultura en seguridad y protección ambiental basada en la prevención de accidentes/incidentes.

7.4. SIASPA.

El sistema de administración o Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA) que PEMEX ha implantado, está basado en modelos administrativos de empresas mundiales afines, así como, en organismos mundiales (por ejemplo: el OSHA y el CCPS de E.U.); y, sirve para atacar de forma integral los problemas de seguridad e impacto ambiental originados por cualquier incidente o accidente ocurrido en sus instalaciones.

Por esto, el SIASPA puede definirse como una herramienta administrativa, enfocada al diagnóstico, evaluación, implantación y mejora continua del desempeño en las áreas de seguridad y protección.

7.4.1. Elementos del SIASPA.

El SIASPA esta formado por 18 elementos heterogéneos, relacionados entre si y que dependen reciprocamente; es gracias a estas interdependencias e interrelaciones entre los elementos que hacen del sistema una herramienta más sólida y con gran éxito. Los 18 elementos están distribuidos en tres componentes [Tabla 15] correspondientes a: el recurso humano, los métodos y las instalaciones.

Tabla 13: Elementos de los tres componentes que forman la estructura del SIASPA (Ref. 21).

ESTRUCTURA DEL SIASPA	Recurso Humano	1. Política, liderazgo y compromiso 2. Organización 3. Capacitación 4. Salud ocupacional 5. Análisis, difusión de incidentes y buenas prácticas 6. Control de contratistas 7. Relaciones públicas y con las comunidades
	Métodos	8. Planeación y presupuesto 9. Normatividad 10. Administración de la información 11. Tecnología del proceso 12. Análisis de riesgos 13. Administración del cambio 14. Indicadores de desempeño 15. Auditorías
	Instalaciones	16. Planes y respuestas a emergencias 17. Integridad mecánica 18. Control y restauración

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Por ser una herramienta administrativa, el SIASPA es de obligado cumplimiento en todas las instalaciones pertenecientes a los Organismos Subsidiarios, Empresas Filiales y Areas Corporativas de PEMEX, así como, en todas las actividades relacionadas con la Institución (por ejemplo: Ingeniería básica o de detalle, Construcción, Instalación, Mantenimiento, Modificaciones, Desmantelamiento, y otras más).

7.5. Importancia de la información.

Para lograr el cumplimiento de los objetivos del SIASPA, es muy importante la participación de todo el personal y que la información con la que se cuenta de esas áreas sea de calidad; esto es, exacta (libre de



errores = actualizada), oportuna (disponible en el momento en que se le requiera) y relevante para todo aquel trabajador que la requiera.

Las personas involucradas con las plantas de proceso de PEMEX accesan a la información de tipo técnico (manuales de operación, manuales de fabricantes, diagramas de los procesos DTI's, DFP's, etc.), de todas y cada una de las plantas; cuando se va a tomar alguna decisión acerca del proceso o la planta, pero si está información no refleja el estado real de la planta no será conveniente tomar una decisión.

Los archivos técnicos se vuelven inútiles cuando no hay un método que permita fácilmente archivar los cambios hechos a las instalaciones y/o a la producción de las plantas, o también, porque estos no son documentados y/o reportados con formalidad.

Dado que el recurso de la información es indispensable para el logro de los objetivos de la política Institucional de Pemex, los programas que respalden la organización de la información, deben tener (Ref. 12):

1. La infraestructura necesaria para mantener, procesar y conservar en forma segura la información,
2. Los procedimientos que aseguren que el proceso de consulta de la información se efectúa de manera rápida y eficaz, con información actualizada y completa,
3. La distribución y localización de la información que permita asegurar su disponibilidad en el campo y en todos aquellos sitios en donde se requiera para desarrollar actividades asociadas con la tecnología del proceso.

Esto es, con la finalidad de hacer más confiable la toma oportuna de decisiones para el control de los procesos y prevenir, evitar o mitigar los riesgos y malas prácticas en todos los niveles de la organización.

7.6. SIDTI

Ante esta necesidad, la Unidad de Evaluación y Programación de la refinería Gral. Lázaro Cárdenas de Minatitlán Ver., confió a la Facultad de Química de la UNAM el desarrollo de un Sistema de Información que cumpliera con los requisitos anteriores para proporcionar la información de los archivos técnicos en forma oportuna, correcta y actualizada de cada planta de proceso.

7.6.1. Origen del SIDTI.

Debido al éxito obtenido en Veracruz, la Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime" de Salina Cruz, Oaxaca, decide unirse a dicho proyecto para contar con su propia base de datos o Sistema de Información de los



Diagramas Técnicos Inteligentes (SIDTI), nombre otorgado a este proyecto. Originalmente, el SIDTI iba a ser únicamente un sistema electrónico para la elaboración de diagramas de proceso, actualmente, no sólo es un sistema para la elaboración de diagramas, también es un sistema que proporciona información confiable y oportuna de cada elemento que integra un diagrama.

7.6.2. Características del SIDTI

Algunos ejemplos de la información que proporciona el SIDTI en cada diagrama son:

- Información sobre el diseño y operación de los equipos.
- Balances de materia de la planta.
- Líneas de instrumentación.
- Descripción de las entradas y salidas de material de la planta (límites de batería).
- Descripción de las líneas de proceso y servicios.
- Instrumentación de equipos.
- Descripción de accesorios.
- Listados acerca de notas y revisiones específicas del estado que guarda alguna sección de la planta.

Toda la información que proporciona esta base de datos ha sido extraída de las fuentes originales (diagramas de proceso, manuales de operación, manuales de fabricante, etc).

Como el SIDTI es un sistema de fácil manejo, no se requiere capacitación especializada para su consulta y modificación. El menú de opciones permite llevar al usuario hasta la información solicitada sin mayor dificultad.

Esta compuesto de estructuras de dibujo elaboradas en AutoCad 2000®, cuya elaboración se basa en la Norma PEMEX No.1-0030-01 "Guía para la elaboración de planos y formatos para documentos diversos" y el manual "bases para la elaboración de diagramas de flujo". (Ref. 12).

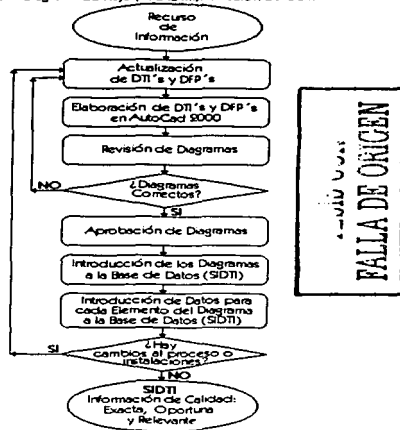
Como se puede observar el SIDTI puede ser de gran ayuda siempre y cuando se conserve actualizado. El hecho de que la versión de un diagrama aparezca en el intranet de PEMEX brinda la oportunidad de consultar una sola versión.

7.6.3. Procedimiento de Implantación.

El procedimiento para implantar el SIDTI en cada refinería básicamente consiste en [Fig. 9]:

1. Recopilar todos los diagramas que se tienen de la planta.
2. Actualización de diagramas dónde se verifica que la información contenida en los diagramas es real. De no existir diagramas de la sección, se realiza el levantamiento.
3. Elaboración de los diagramas en Software AutoCad 2000®.
4. Revisión de los diagramas elaborados por personal de Refinería para hacer correcciones, en caso de no tener cambios, los diagramas se aprueban.
5. Los diagramas ya aprobados se introducen en el Sistema Inteligente.
6. De cada elemento que forma al diagrama se introduce la información que se posee.
7. En este momento ya se cuenta con información de calidad disponible para consulta.
8. En caso de hacer alguna modificación al proceso o la instalación, esta puede ser documentada inmediatamente en el SIDTI.
9. La información contenida en el SIDTI se conserva actualizada, es de calidad y esta disponible para su consulta.

Fig. 9: Diagrama de Flujo para la Implantación del SIDTI



FALLA DE ORIGEN

Una vez instalado el sistema, la dirección y supervisión del proyecto esta a cargo de la Unidad de Evaluación y Programación de la refinería; por esta razón, para modificar la información de la base de datos es necesario contar con la autorización y supervisión del administrador encargado del SIDTI (localizado en la Unidad de Evaluación y Protección de la refinería).

7.6.4. Importancia del SIDTI.

La información de la base de datos del SIDTI puede ser consultada a través del servidor de páginas WEB de la unidad de informática de la refinería o por la red interna de PEMEX (intranet) en la siguiente dirección:



<http://143.102.2.50/SIDTI/catalogo.asp>:

De esta forma, el SIDTI se vuelve una herramienta importante para la toma de decisiones, al cumplir satisfactoriamente con los tres atributos de una información de calidad.

El SIDTI también está relacionado con algunos elementos del SIASPA: Administración de la Información, Tecnología del Proceso, Análisis de Riesgos y Administración al Cambio; como se observa en la Tabla 16.

El SIDTI al ser una herramienta que permite actualizar, recopilar, integrar y difundir la información de tipo técnico de todas las plantas, apoya al SIASPA en la prevención de accidentes y es un medio eficaz para la toma de decisiones en actividades de prevención y control. Por esto, su correcta implantación repercute en la Seguridad de trabajadores, instalaciones y la Protección al Ambiente.

Tabla 14: Relación del SIDTI con los siguientes cuatro elementos del SIASPA:

ELEMENTO DEL SIASPA	RELACIÓN
10. Administración de la Información	Para todas las actividades en la empresa es necesario, en beneficio de la Seguridad y Protección Ambiental, contar con información confiable, suficiente y oportuna.
11. Tecnología del Proceso	Los paquetes de tecnología de los procesos contienen los aspectos necesarios para identificar y entender los riesgos involucrados, por lo tanto, siempre estarán actualizados.
12. Análisis de Riesgos	Todos los métodos de identificación de riesgos se basan en los diagramas técnicos de plantas de proceso, por lo que se deberá comprobar su actualización y confiabilidad (Ref. 10).
13. Administración del Cambio	Todos los cambios de materiales, procesos, equipos e instalaciones, deben ser revisados porque pueden originar nuevos riesgos e impactos y anular la valoración de los riesgos o impactos analizados antes del cambio.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

8. CULTURA EN PREVENCIÓN DE RIESGOS.

Finalmente, se hace énfasis en la excelencia individual como elemento imprescindible en el éxito de las organizaciones, ya que, todo lo mencionado anteriormente no sirve de nada si los empleados no tienen la costumbre de pensar en la seguridad como parte de su trabajo (cultura de la seguridad).



Cuando la cultura de la seguridad no está bien implantada la calidad del desempeño de los empleados es baja y la seguridad sólo es considerada una carga más (¿cómo los impuestos?) que no deja trabajar a gusto, incluso suele desarrollarse la "costumbre" de defenderse de ella; no hay tiempo para ir a los cursos, prolifera el "déjame que tengo mucho que hacer", etc.

Y si, además, el trabajador realiza los famosos "atajos" en los procedimientos e instrucciones de trabajo origina, de esta manera, condiciones de riesgo susceptibles de concluir en accidentes. Entonces, para que haya verdaderamente *seguridad* en las plantas industriales y se minimicen de manera sistemática las *condiciones y actos inseguros* implica algo más que ideas claras y buenos propósitos; se requiere liderazgo, especialmente de los gerentes y supervisores.

¿Por qué de la gerencia y de los supervisores? porque ambos tienen el conocimiento y dominio de las materias que se relacionan con la conducta de los componentes de una organización, la habilidad para dirigir, evaluar, tomar decisiones, saber escuchar, saber controlar y saber administrar su negocio, además son la *imagen de la empresa*.

Lo importante, no es la manera como se ven a sí mismos los jefes, sino la percepción –imagen- que tienen de ellos las personas sobre las que están tratando de influir; de esta forma, cuando un director está preocupado por la seguridad, ésta comenzará a ser importante por que preguntará cosas y todos los involucrados tendrán que darle respuestas, poniendo en marcha, el proceso de mejora de la seguridad.

Se habrá instalado una cultura de seguridad en la empresa, en donde la *dirección* cree que la seguridad es parte del trabajo y la gestiona igual que el resto de los temas operativos: producción, personal, calidad, cuentas a cobrar, etc. Además de contemplarla como un trabajo en equipo porque es cosa de todos.

Por esta razón profundizaremos un tanto en las variables que influyen en el comportamiento inseguro del trabajador, las tres primeras variables están relacionadas con el sistema, mientras que, las siguientes son variables relacionadas con los individuos; para mejorar el comportamiento se deben actuar sobre estas últimas y, adicionalmente, influenciar sobre las individuales.

- Peligros para la seguridad: Manipulación de objetos pesados, productos químicos, etc.
- Clima de seguridad: Muestra las percepciones que los empleados tienen del papel de la seguridad en la organización.



- Presión: Refleja el dilema al que se ven sometidos los empleados entre cumplir con las normas de seguridad y alcanzar las cuotas de producción.
- Actitud displicente hacia el riesgo: Caracteriza a aquellos individuos que tienen una cierta propensión al riesgo.
- Eficacia en seguridad: Se trata de una variable de comportamiento organizacional, la auto-eficacia-Comportamiento laboral seguro: la variable de respuesta del modelo recoge las percepciones del trabajador sobre su comportamiento y el de sus compañeros.

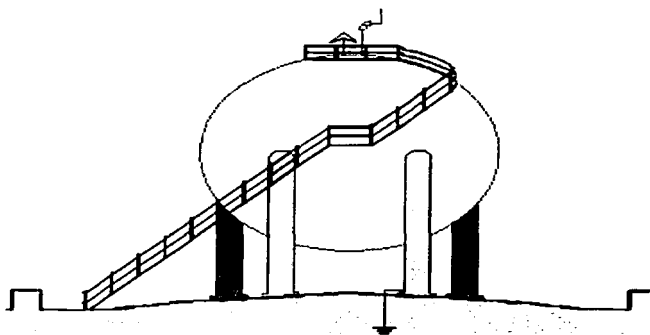
Dentro del esfuerzo empleado-directivo para lograr la mejora continúa de la seguridad están las siguientes variables:

- o Control de la dirección: Verificación de procedimientos, involucración de la gestión, etc
- o Estándares de seguridad: Programas de formación en seguridad e intervención post-accidentes.
- o Comportamiento frente al riesgo: Incluye conceptos tales como riesgo asumible por los empleados, sistema de información de accidentes e incidentes y tiempo disponible para realizar la tarea con seguridad.
- o Condiciones de trabajo: En función de las frecuencias de utilización de maquinaria en condiciones no óptimas y del porcentaje de entornos de trabajos inseguros en los que realizan su actividad.
- o Interés de los empleados en seguridad: relacionado con la fatiga al realizar las operaciones, duración de la jornada laboral y requerimientos de los clientes.

El Intercambio líder – miembro, nos indica que una buena relación entre los operarios y los supervisores genera que las reacciones a los programas de incentivo sean mejores. Entonces, el interés general de la dirección por sus empleados es una variable que afecta a la atención que la dirección otorga a la seguridad, ello conlleva a la prioridad que la dirección ofrece sobre la seguridad, y esta a su vez sobre el nivel percibido que los empleados tienen de la misma y esta en la productividad final, ya que unas malas condiciones de trabajo, programas apretados y distribuciones en planta inseguras, afectan al nivel de rendimiento.

Es así como, cualquier aspecto que afecte al clima de seguridad tendrá efectos en la respuesta de seguridad de los compañeros de trabajo.

Capítulo III



Análisis de Riesgos

TRABAJO DE CAMPO

PEMEX altamente preocupado por ofrecer una producción de calidad, eficiente y completamente segura, tanto para sus propios trabajadores como para su entorno, realiza periódicamente en todas sus instalaciones de proceso y almacenamiento estudios de riesgos.

En esta sección se presenta el análisis de riesgos completo para esferas de almacenamiento de propileno, específicamente TE-402 y TE-18 localizadas en el área 6 de Minatitlán, Veracruz y área 4 de Salina Cruz, Oaxaca respectivamente.

Para su mejor comprensión, este análisis se ha dividido en tres partes:

- Primera parte: Aplicación de la metodología de Análisis HazOp para identificar y clasificar los posibles riesgos a los que están expuestas las esferas y su entorno. También permite determinar la prioridad con la que se deberá actuar al aplicar las recomendaciones generadas (para el registro de las sesiones se empleó el software Det Norske Ventas, DNV Pro versión 5.0).
- Segunda parte: Aplicación de la metodología de Árbol de Fallos para determinar todas las posibles secuencias de eventos necesarios para obtener el evento no deseado; en base a lo anterior calcular su probabilidad de ocurrencia, y con esto señalar las combinaciones de eventos más factibles.
- Tercera parte: Análisis de Consecuencias para estimar la magnitud de los posibles daños que se obtendrían al concretarse el evento no deseado, para poder determinar las respuestas necesarias a las distintas emergencias.

1. ANÁLISIS HazOp.

1.1. Personal involucrado.

Para la ejecución del Análisis de Riesgos y Operabilidad se requirió la participación de ingenieros de las siguientes instituciones: PEMEX Refinación (Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico, GIDT, y jefes de departamento en refinería), así como, de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM.

El personal de la GIDT dirigió y brindó asesoría durante el desarrollo del estudio a los jefes de departamento para que visualizarán las posibles situaciones de riesgo, evaluarán la probabilidad de que se realizara junto con las consecuencias que estás podían generar, descartaran o aceptaran escenarios y, finalmente, enunciarán las medidas preventivas existentes o recomendarán algunas más, la UNAM brindó asesoría y apoyo para la actualización y/o levantamiento de los Diagramas de Tubería e Instrumentación según se requiriera, además de participar en las sesiones.

En este trabajo se presenta una parte de los estudios de riesgos realizados en las instalaciones para almacenamiento de licuados (como: Gas L.P., propano, butano, propileno, isobutano, etc.) de dos refinerías, que tienen en común, el análisis a un tanque esférico de propileno.

1.2. Etapas de elaboración.

Básicamente, el proceso para realizar el estudio HazOp en ambas refinerías consistió de:

1. Buscar la mejor manera para satisfacer la necesidad de una evaluación de riesgos.
2. Definir qué resultados se quieren obtener y qué parte del proceso o área se necesita evaluar, ya sea, por alguna modificación que se planea hacer (para saber si las medidas de seguridad existentes son suficientes) o simplemente para verificar que todo este funcionando adecuadamente. Lo anterior se logra al definir claramente los objetivos del estudio.
3. Seleccionada el área a estudiar y los objetivos; se recopiló y actualizó toda la información disponible sobre el área, por ejemplo: Diagramas de Tubería e Instrumentación, de Localización de Equipo, de Flujo de Proceso;

procedimientos de operación o mantenimiento, normas vigentes, listas de válvulas de seguridad, de instrumentos habilitados y deshabilitados, etc.

La actualización de los diagramas es muy importante porque en base a la información que proporcionan los diagramas, durante el estudio, se toman decisiones, como la de colocar o no ciertas protecciones, o de calificar con cierto nivel de riesgo de acuerdo a la instrumentación existente, etc.

4. Se designó al personal de refinería que formaría parte del equipo multidisciplinario.
5. Se dividió el área de estudio en "nodos" o secciones de tamaño mediano en las que no hay cambios sobre las propiedades del sistema.
6. Se estimaron las horas hombre necesarias y se acordó el lugar, la fecha y el tiempo de cada sesión HazOp; además, de tramitarse los permisos necesarios para facilitar la asistencia de todo el equipo multidisciplinario.
7. Se realizaron las sesiones HazOp (siguiendo el procedimiento que se muestra en la Figura 8, del capítulo II). Es importante resaltar que la imaginación de todo el equipo multidisciplinario permitió obtener las desviaciones, causas, consecuencias, recomendaciones y niveles de riesgo para las recomendaciones que se incluyen en las hojas de registro de las sesiones HazOp.
8. Se elaboró un plan de trabajo donde se tabularon todas las causas, sus respectivas recomendaciones con el nivel de riesgo otorgado y para cada recomendación se asignó el departamento responsable de llevarla a cabo en cierta fecha límite previo acuerdo. En algunos casos, la asignación de un departamento responsable no resultaba ser la mejor decisión porque la recomendación requería un seguimiento más profundo como la propuesta para desarrollar un estudio técnico-económico de factibilidad.
9. Finalmente, se entregó el reporte correspondiente a cada área en su respectiva refinería con la descripción del área, diagramas de los nodos, hojas de registro de las sesiones HazOp y el plan de trabajo con las firmas de los departamentos asignados y las fechas límite de compromiso. También, se incluyeron los resultados del estudio de consecuencias aplicado a los posibles escenarios de eventos culminantes encontrados durante el HazOp como fuga de vapor de propileno, fuego, etc.

Anteriormente se mencionó que para el registro de las sesiones HazOp se usó el programa DNV Pro Versión 5.0 pero, ¿qué hace este programa?

1º. Sirve de apoyo para la elaboración de análisis de riesgo al auxiliar en el desarrollo de metodologías como: ¿qué pasa si...?, listas de verificación, estudios de riesgo y operabilidad, etc. Puesto que el programa cuenta con los formatos de cada metodología que permiten el registro organizado de toda la información referente al estudio seleccionado.

2°. Permite modelar los efectos de las consecuencias generadas por: explosiones de nubes de vapor, incendios de líquido en charcos, dardos de fuego, bolas de fuego, etc., además de facilitar la visualización de las zonas de afectación mediante gráficos de ondas de sobrepresión, de radiación térmica, distancias de proyectiles, etc. El resultado puede ser general, o bien, si se escanea el Plot Plan se observarían las zonas que serían dañadas dentro y fuera de la planta.

3°. Además, incluye un apartado que administra la información de los recursos humanos, el cual contiene un directorio de los asistentes a las sesiones para referencias futuras; también permite anotar en cada sesión quién asistió, las horas hombre empleadas y los temas que fueron desarrollados.

Al final de todo, sólo se selecciona la información que se desea incluir en el reporte final y se imprime. Una desventaja es que el archivo se lee sólo en computadoras que poseen dicho programa.

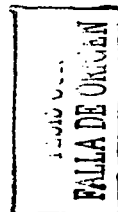
Es muy importante reconocer que sin la participación creativa y positiva de los ingenieros de la planta (porque sólo ellos conocen a profundidad las necesidades de su área de trabajo), este o cualquier otro programa para análisis de riesgos no serviría de mucho a la planta analizada, porque se tendría una idea pero no se diagnosticarían exactamente las zonas que tienen mayores riesgos.

1.3. Establecimiento de las Matrices de Riesgos.

La forma en que se establecen las prioridades de las recomendaciones (con o sin programa) es mediante el uso de una **matriz de índice de riesgo** que combina la probabilidad de ocurrencia de un accidente con la severidad ó gravedad de las consecuencias del mismo.

Figura 10: Matriz de Índice de riesgo usada en el estudio HazOp de la estera TE-18.

		GRAVEDAD				
		1	2	3	4	5
FRECUENCIA	1					
	2		4	6	7	8
	3		6	7	8	9
	4		7	8	9	10
	5		8	9	9	10



Las matrices de índice de riesgo varían de acuerdo al alcance de los estudios y a las necesidades de las empresas, por ejemplo: para el estudio realizado en el **Área 4 de almacenamiento (esfera TE-18)** se empleó la matriz que presenta la figura [Fig. 10].

Tabla 15: Determinación del índice de riesgo mediante los índices de frecuencia y gravedad.

INDICE DE FRECUENCIA.	INDICE DE GRAVEDAD.
1. No más de una vez en la vida de la planta.	1. No tiene impacto en la planta, personal o equipo.
2. Hasta una vez en diez años.	2. Daños sólo al equipo o fugas menores.
3. Hasta una vez en cinco años.	3. Lesiones al personal de la unidad, todas las consecuencias se contienen en la instalación.
4. Hasta una vez en un año.	4. Daños / destrucción mayores a la instalación, consecuencias limitadas fuera de la instalación.
5. Más frecuente que una vez al año.	5. Daños / destrucción mayores a la instalación, y/o consecuencias extensivas fuera de la instalación.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Y, el índice de riesgo se determina mediante los índices de frecuencia (accidente/año) y gravedad (pérdida/accidente) otorgados de acuerdo a las características que se indican en la tabla 1.

Es así, como, basándose en los niveles de riesgo proporcionados y en la matriz de riesgos anterior, las recomendaciones propuestas en el análisis HazOp del tanque esférico de almacenamiento TE-18 pueden tener cualquiera de las siguientes prioridades [Tabla 16]:

Tabla 16: Prioridades para las recomendaciones del estudio a la esfera TE-18.

NÚM.	CLASE	PRIORIDAD	SEGUIMIENTO
1 a 3	C	BAJA	La implementación de la recomendación sólo sirve para mejorar la seguridad en la planta, no es urgente su aplicación.
4 a 7	B	MEDIA	Las recomendaciones deben ser evaluadas a través de un estudio de costo-beneficio, para aceptar o no el riesgo.
8 a 10	A	ALTA	Es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente o su consecuencia.

Considerando que la matriz de la figura 10 proporcionaba resultados un tanto generales, se crearon cuatro matrices más específicas en cuanto a los índices de gravedad. Cada matriz esta enfocada exclusivamente a uno de los siguientes aspectos:

- a) **Seguridad.** Evalúa los daños que produce el accidente sobre las personas.
- b) **Instalaciones.** Brinda una aproximación económica (\$) de los daños ocasionados a la empresa.
- c) **Medio ambiente.** Considera una fuga, su tamaño y el daño causado al entorno.
- d) **Operación.** Califica el daño de acuerdo con los paros de producción dentro de la planta.

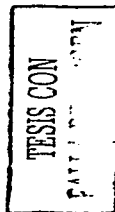
La matriz manejada en el análisis HazOp para el tanque esférico TE-402 [Fig. 11] (área 6), empleó la tabla 17 para asignar la frecuencia y la tabla 18 para proporcionar el índice de gravedad de acuerdo a cada matriz.

Fig. 11: Matriz de índice de riesgo manejada durante el estudio HazOp a la esfera TE-402.

	GRAVEDAD				
	4	3	2	1	
6	4	4	3	1	1
7	6	4	3	3	2
9	7	6	4	4	3
10	9	7	6	6	4
					FRECUENCIA

Tabla 17: Tabla de índice de frecuencia usada en el HazOp de la esfera TE-402.

NÚM.	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
1	FRECUENTE	Ocurre una vez por año.
2	OCASIONAL	Ocurre hasta una vez en diez años.
3	POSIBLE	Ocurre hasta una vez en cien años.
4	IMPROBABLE	Ocurre hasta una vez en mil años.



Como se observa, la tabla 17 de frecuencias no varía mucho de la tabla 15, pero la tabla 18 de gravedades es más explícita que la 15.

La ventaja que ofrece el sistema de cuatro matrices es ofrecer el panorama de cómo, cuánto, dónde y qué afecta en caso de realizarse dicho evento culminante. Esto, facilita ampliamente la toma de decisiones en materia de seguridad ya que justifica de manera más extensa en que aspectos afectaría más el riesgo.

Trabajo de Campo.

Tabla 18: Tabla de indice de gravedad para las cuatro matrices usada en el HazOp de la esfera TE-402.

NÚM.	GRAVEDAD	MATRIZ	DESCRIPCIÓN
1	CATASTRÓFICO	SEGURIDAD	Pérdida de una o más vidas fuera de la refinería
		INSTALACIONES	Daños mayores a \$25,000,000
		MEDIO AMBIENTE	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la refinería
		OPERACIÓN	Paro de la refinería
2	MAYOR	SEGURIDAD	Un lesionado fuera de la refinería
		INSTALACIONES	Daños entre \$2,500,000 y \$25,000,000
		MEDIO AMBIENTE	Fuga mayor que no requiere limpieza fuera de la refinería
		OPERACIÓN	Paro de una o más plantas
3	SIGNIFICATIVO	PERSONAS	Varios lesionados dentro de la refinería
		INSTALACIONES	Daños entre \$250,000 y \$2,500,000
		MEDIO AMBIENTE	Fuga menor que requiere limpieza dentro de la refinería
		OPERACIÓN	Paro de una planta
4	IMPORTANTE	PERSONAS	Un lesionado dentro de la refinería
		INSTALACIONES	Daños menores a \$250,000
		MEDIO AMBIENTE	Fuga menor
		OPERACIÓN	Paro del equipo o sección de planta

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 19: Clases de riesgo usados en las cuatro matrices del HazOp del tanque TE-402.

NÚM.	CLASE	DESCRIPCIÓN	SIGUIIMIENTO.
1 A 3	A	INACEPTABLE	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase c o menor dentro de un periodo de 6 meses
4	B	INDESEABLE	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase c o menor dentro de un periodo de 12 meses
6	C	ACEPTABLE CON CONTROLES	Debe verificarse que los procedimientos o controles estén en su lugar, en uso y que sean efectivos
7 A 10	D	ACEPTABLE COMO ESTÁ	No se requiere mitigar el riesgo

La matriz que se uso para otorgar las clases de riesgo [Fig. 12] en cada aspecto, requirió el empleo de las tablas 17, 18 y 19, así como de la figura 11.

Fig. 12: Matriz de clases de riesgos usada en el HazOp de la esfera TE-402.

		GRAVEDAD					
		4	3	2	1		
FRECUENCIA	C	B	A	A	A	1	
	D	C	B	B	A	2	
	D	D	C	C	B	3	
	D	D	D	D	C	4	



Cuando todas las matrices contaban con su propia clase de riesgo, se promediaban las cuatro para obtener la clase general de la recomendación, con este dato y la tabla 20 se estima la prioridad de la recomendación final.

Tabla 20: Prioridades para las recomendaciones del estudio a la esfera TE-402.

NÚM.	CLASE	PRIORIDAD	SEGUIMIENTO
1 a 3	D	BAJA	La implementación de la recomendación sólo sirve para mejorar la seguridad en la planta, no es urgente su aplicación.
4 a 6	B y C	MEDIA	Las recomendaciones deben ser evaluadas a través de un estudio de costo-beneficio, para aceptar o no el riesgo.
7 a 10	A	ALTA	Es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente o su consecuencia.

Es así como, al guardar en el programa las figuras 10, 11 y 12, y al indicar la frecuencia y gravedad este otorga fácilmente las clases de riesgo.

1.4. Aplicación de la Técnica HazOp a los casos de estudio.

Dado que antes de comenzar el estudio de riesgos y operabilidad se debe describir la zona de trabajo y señalar las características del nodo que se va a analizar, para brindar un panorama general del área de estudio, a continuación se presentará dicha información para ambas áreas de almacenamiento.

Después de tal descripción se proporcionan las respectivas hojas de trabajo de las sesiones HazOp, en las cuales se presentan sólo las desviaciones, causas, consecuencias, protecciones recomendaciones y las prioridades de las recomendaciones, comenzando con el área 6 y terminando con el área 4.

1.4.1.1. Descripción Del Área 6:

El área de almacenamiento de gas L.P. esta distribuida en cinco islas, dentro de ellas hay 27 tanques esféricos [Tabla 24] que almacenan los productos que llegan de las áreas operativas de la refinería y de los complejos petroquímicos [Diagrama 1]. En la zona hay 16 bombas (con sus respectivos relevos) localizadas en tres casas diferentes:

- Casa N° 1 de Bombas:

Tabla 21: Características del equipo de bombeo en la casa No.1 de bombas.

CLAVE	TIPO	CAPACIDAD	$\Delta P=$ (psi)
BA-3901	Horizontal	1 200 GPM	370

- Casa de Bombas de L. P. G.

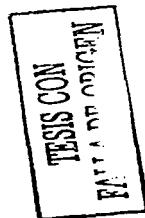
Tabla 22: Características del equipo de bombeo en la casa de bombas de Gas L.P.

CLAVE	TIPO	CAPACIDAD	$\Delta P=$ (psi)
BA-203 A/B	Vertical	1 500 GPM	475
GA-205 A/B	Vertical	594 GPM	54.6
GA-206 A/B	Vertical		
BA-17 A/B	Horizontal	594 GPM	54.6
BA-22 A/B	Vertical	1 750 GPM	320
BA-23 A/B/C	Horizontal		
BA-23 D	Horizontal	22.8 GPM	

- Casa Central De Bombas:

Tabla 23: Características del equipo de bombeo en la casa central de bombas.

CLAVE	TIPO	CAPACIDAD	$\Delta P=$ (psi)
P-1460	Horizontal	300 GPM	200
P-1461	Horizontal	300 GPM	200
P-1462	Horizontal	300 GPM	200
P-1454B	Horizontal	100 GPM	90
P-1206	Horizontal	300 GPM	68
P-1207	Horizontal	300 GPM	68
P-1208	Horizontal	300 GPM	68
P-17 A/B	Horizontal	150 GPM	108
P-18 A/B	Horizontal	150 GPM	70



Trabajo de Campo.

Tabla 24: Características de las esferas de almacenamiento del área 6 en Minatitlán.

ZONA	CLAVE	PRODUCTO	CAPACIDAD	VIENE DE	DESTINO
1	FA-202	Mezcla de Butanos	20 000 BLS	Área 2 DA-201(DIC ₄)	LPG-Ducto
	FA-203	Isobutano	15 000 BLS (Φ=16.164 m)	Área 2 (DIC ₄) y área 4	SalinaCruz
	TE-405	Mezcla de Butanos y Propano	15 000 BLS (Φ=16.164 m)	Área 2 (DIC ₄), área 3, área 4 (FCC) y área 5 (U-600)	LPG-Ducto
	TE-406				
	TE-407				
	TE-408				
	TE-409				
TE-410					
2	TE-1	Butano/ Butileno	5 000 BLS	Área 4 (FCC)	LPG-Ducto Salina Cruz (mezcla con C ₄)
	TE-2				
	TE-3				
	1101A	Isobutano	5 000 BLS	Área 2 (DIC ₄ , Fracc. de C ₄ 's) y área 4 (FCC).	FA-203 a Salina Cruz (C ₄)
1101B					
3	TE-110	Butanos	12 000 BLS (Φ=15.5 m)	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 BLS (Φ=15.36 m)	Complejo Petroquímico Cangrejera y Morelos	Area 2
	TE-301				
	TE-302				
	TE-303				
5	TE-304	Fuera de operación	20 000 BLS		
	TE-305				
	TE-306				
	TE-307				
	TE-401				
TE-402	Propileno	15 000 BLS (Φ=16.164 m)	Área 4 (Splitter C ₃ /C ₂)	Complejo Petroquímico Morelos (C ₂)	

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Los sistemas de protección con que dispone el área son: sistema para aislamiento de emergencia, la planta posee en algunas esferas como FA-202, 203, TE-1, 2, 3, 401, 402, 405, 406, 407, 408, 409, 410, 1101A y B un sistema oleodinámico, el cual cierra las válvulas vickers (ubicadas en cada tanque de almacenamiento) en caso de emergencia.

La red contra incendio puede ser activada automática ó manualmente y está hecha a prueba de fuego en la zona de tanques esféricos y casa de bombas.



Cada tanque esférico tiene un sistema de rociado (aspersores) de agua de la siguiente forma: la esfera TE-405, cuenta con cuatro anillos: uno superior, dos intermedios y uno inferior; la FA-202 y TE-406 poseen tres anillos: superior, intermedio e inferior; los esféricos FA-203, TE-407, 408, 409 y 410 presentan dos anillos: inferior e intermedio; los demás esféricos tienen un anillo intermedio con 25 aspersores. Además, un sistema de diluivo (gorro japonés) de agua ubicado en la parte superior de cada esfera.

1.4.1.2. Descripción del nodo 1: Tanque Esférico TE-402.

Dentro del Área 6: almacenamiento de Gas L.P. se encuentra la esfera TE-402. Esta se usa para almacenar el propeno procedente de la torre fraccionadora DA-901 (splitter propano/propileno) en la planta catalítica FCC del Área 4.

Para enviar el producto a ventas, el alqueno es succionado del tanque por medio de las siguientes bombas localizadas en la Casa Central de Bombas (C.C.B.):

- * P-18 A/B cuya descarga va hacia la Terminal de Almacenamiento y Distribución (T.A.D.)
- * P-1460 A/B cuya descarga va al Complejo Petroquímico Morelos (C.P.M.) y, a la T.A.D.

La esfera [Diagrama 2] posee una capacidad de 15 000 barriles (2 385 m³), aunque normalmente sólo se emplea al 80%; tiene un diámetro de 53 ft (16.164 m), trabaja a una presión de 200 psig (14 kg/cm²) y una temperatura de 86°F (30°C); cuenta con dos válvulas de seguridad para alivio de presión (PSV's 6403 y 6404) que al abrirse, por condiciones anormales de operación o emergencias, descargan a un cabezal de desfogue.

El casquete superior del TE-402 cuenta con la siguiente instrumentación:

- Indicador de nivel
- Indicador de presión
- Alarma por alto y bajo nivel
- Alarma por alta y baja presión
- Sistema de telemedición que indica la presión, temperatura y gravedad específica
- Sistema en paralelo de dos válvulas PSV's (6403 y 6404 de 6"x8") **al redundar en este elemento aumenta el nivel de seguridad.**
- Válvula macho antes y después (de 6" y 8" de diámetro respectivamente) de cada PSV's, para **realizar mantenimiento constante en una de las válvulas PSV sin dejar al equipo sin protección.**

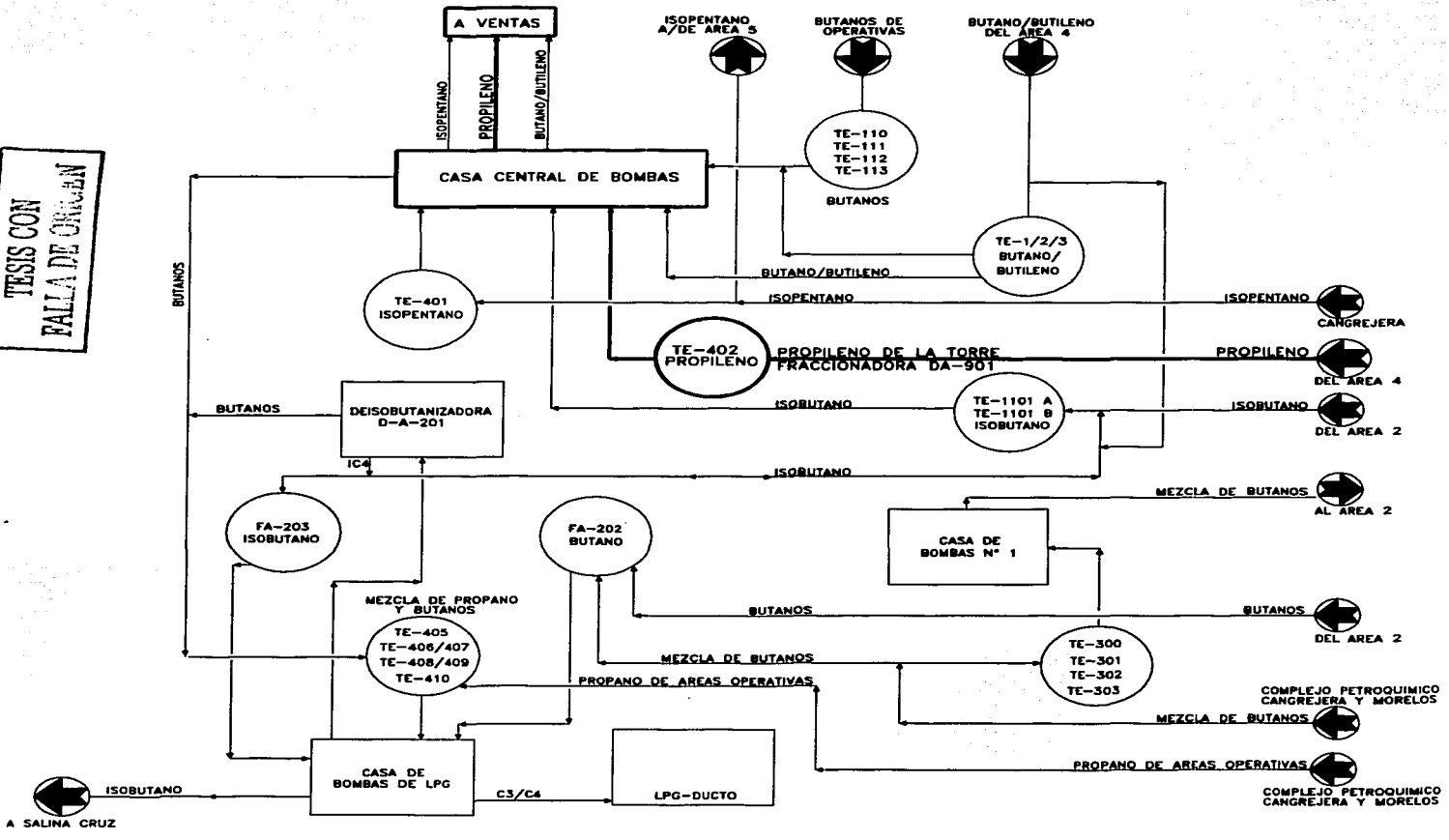
El casquete inferior de la esfera presenta:

- Sistema de toma de muestra,
- Indicador de temperatura
- Indicador de presión
- Dos válvulas vickers, una para recibo del producto y otra para la descarga con sistema para aislamiento de emergencia de tipo oleodinámico.

La esfera es refrigerada por medio de un sistema de diluvio (gorro japonés) de agua en el casquete superior y en la parte media un sistema de rociadores con 24 aspersores de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



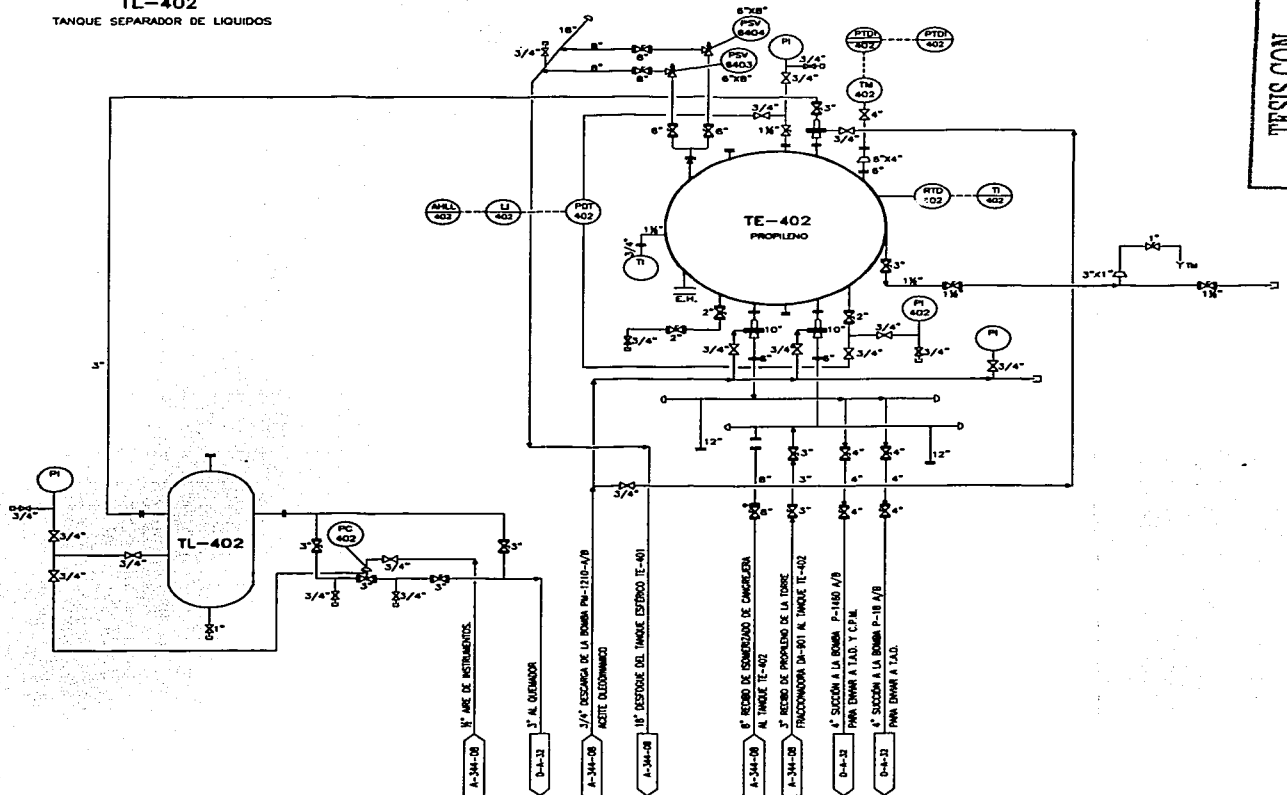
Universidad Nacional Autónoma de México UNAM Facultad de Química FQ Campus E, Lab 212	
Análisis de Riesgo En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propano	
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DEL AREA 4 P ALMACENAMIENTO DE GAS L.P.	
Autores: Alvarado, J. P. Torres, J. P.	Fecha de Emisión: 1

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TL-402
TANQUE SEPARADOR DE LIQUIDOS

TE-402
ALMACENAMIENTO DE PROPILENO
CAPACIDAD: 15,000 BLS.
PRESION OPERACION/DISEÑO: 13.06 Kg/cm² / 19.3 Kg/cm²
TEMPERATURA OPERACION/DISEÑO: 30 ° C / 48.8 ° C
DIÁMETRO: 16.164 M.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



- SIMBOLOGIA.**
- ⊞ VALVULA TIPO VICERS
 - REDUCCION CONCENTRICA
 - ⊞ VALVULA MEDIO BROWNE
 - ⊞ VALVULA DE ALMO.
 - BANDA
 - ⊞ VALVULA DE COMPUESTA
 - ⊞ VALVULA DE COMPUESTA BROWNE
 - ⊞ TAPON HEMBRA
 - LINEA CORTADA
 - ⊞ VALVULA DE COMPUESTA BROWNE CON PLACA CIEGA
 - Y TORNILLO DE SUJETA
 - ⊞ VALVULA DE CONTROL DE COMPUESTA
 - ENTRADA HOMBRE
 - ⊞ VALVULA DE COMPUESTA DE VENTEO O PURGA
 - LINEA CON TAPA TORNEOEFERICA
 - ⊞ INDICADOR EN TABLERO O CONSOLA
 - ⊞ INSTRUMENTO EN TABLERO LOCAL
 - ⊞ INDICADOR EN CAMPO
 - ⊞ IDENTIFICACION DE PSV
 - ⊞ ENTRADA O SALIDA DE UN PLANO A OTRO
 - LINEA ELECTRICA
 - LINEA NEUMATICA
- ABREVIATURAS.**
- PSV VALVULA DE SEGURIDAD DE PRESION
 - PI INDICADOR PRESION
 - POT INDICADOR DE PRESION, TEMPERATURA Y GRAVEDAD ESPECIFICA
 - RTD DIFERENCIAL DE TEMPERATURA POR RESISTENCIA
 - LI INDICADOR DE NIVEL
 - POT TRANSDUCTOR DIFERENCIAL DE PRESION
 - AMEL ALARMA POR ALTO Y BAJO NIVEL
 - TI TELEMEDICION
 - TI INDICADOR DE TEMPERATURA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (UNAM)
Facultad de Quimica (FQ)
Carrera: Q. 101 212

Análisis de Riesgos
En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propileno

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
ALMACENAMIENTO Y SEPARACION DE PROPILENO EN EL
TANQUE SEPARECO TE-402

Analizado por: []
Revisado por: []
Fecha de Emisión: 2
Escala: 1:1



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)

- Hojas De Trabajo -

Tipo: Tanque Estlenco

Clave TE-402

Diámetro 18 164 m

Nodo 1:

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-402.

Diagrama No 2

DT 1 Almacenamiento Y Manejo De Propileno En El Tanque Estlenco TE-402

Área 6: Almacenamiento de Gas L. P.

Capacidad 15 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Temperatura	Alta	Alta Temperatura	I Calentamiento externo por fuego en los alrededores o en equipo adyacente.	1) Alta presión. 2) Por fuga puede existir incendio o explosión 3) Daños a la estructura de la esfera 4) Si el calentamiento es en el casquete inferior hay pérdida de producto por la línea de recibo y descarga. 5) Si el calentamiento es por el casquete superior de la esfera se produce un BLEVE ya que la temperatura adelgazaría al material. 6) Se funden los fusibles de las válvulas Vickers.	A) El equipo de telemedición incluye las alarmas por alto y bajo nivel. B) Se cuenta con dos válvulas PSV's, la 6404 y 6403 de 6"x8" de diámetro, las cuales se calibran a la presión de diseño cada dos años. C) Existen procedimientos contra incendio (GPASL-03000). D) Existen indicadores de temperatura local y remoto. E) Instalación de una línea telefónica directa a contra incendio. F) Sistema de anillos de enfriamiento.	a. (M) Realizar un estudio de factibilidad para determinar la instalación de detectores de nubes explosivas en la casa central de bombas.
			II La esfera no cuenta con protección por alta temperatura para activar el sistema contra incendio.	Considerada en 3.	Cubierta por C, D, E y F.	b. (B) Instalar alarmas por alta temperatura. c. (B) Mandar señal al sistema automático de enfriamiento, cuando alarme por alta temperatura.
	Baja	Baja Temperatura	No aplica	No aplica	No aplica	No aplica

TESTEADO
FALLA DE ORIGEN



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Estéreo

Clave TE-402 Diámetro 16 164 m

Nodo 1:

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque estérico TE-402.

Diagrama No 2
D.T.1 Almacenamiento Y Manejo De
Propileno En El Tanque Estéreo TE-402.

Área 6: Almacenamiento de Gas L. P.

Capacidad 15 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUIA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Nivel	Alto	Alto Nivel	III Falta de los instrumentos de medición de nivel.	Considerada en 1. 7I Pérdida de producto al desfogar al quemador	Cubierto por A, B G) Listado operacional de la esfera TE-402. H) Programa de calibración de espesores de la esfera TE-402. I) Se realizan inspecciones preventivas de riesgo cada seis meses por área.	d. (B) Seguir cumpliendo con los recorridos de vigilancia.
			IV Error humano.	Como en 1, 2 y 7.	Cubierta por A. J) Cursos de actualización para operadores. K) Sistema contra incendio.	e. (B) Cubrir de forma oportuna las vacantes de operadores (bombero °C°).
			V Falta de las válvulas vickers en la succión de la esfera.	8I No hay salida de producto.	L) Se tiene un controlador de presión (PC) para mantener presionada la línea y asegurar que la válvula se mantenga abierta.	f. (A) Realizar un estudio de factibilidad para determinar la posibilidad de cambiar las válvulas tipo vickers del sistema oleodinámico por válvulas de mariposa con indicación de abierto o cerrado.
	Bajo	Bajo Nivel	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica

**TESIS CON
FALTA DE TITULO**



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
-Hojas De Trabajo -

Tipo: Tanque Esférico

Clave TE-402 Diámetro 16 1/4 m

Nodo 1:
Almacenamiento y manejo de Propieno en el tanque esférico TE-402.

Diagrama No. 2
D.T.I Almacenamiento Y Manejo De
Propieno En El Tanque Esferico TE-402

Área 6: Almacenamiento de Gas L. P.

Capacidad 15 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Presión	Alta	Alta Presión	VI No actúa la válvula de control de presión (PC-402), al pie de la esfera, que va al tanque separador TL-402.	Como en 7.	Cubierta por B. M) Programa de mantenimiento preventivo.	Propuesta en a) y f).
			VII Alto nivel.	Como en 2 y 7.	Cubierta por B y M.	Propuesta en a) y d). g. (B) Seguir cumpliendo el procedimiento para el recibo del propieno en la esfera.
			VIII Calentamiento externo por fuego en los alrededores o en un equipo adyacente.	Como en 2, 4 y 5.	Cubierta por B, D, E y K. N) Equipo de telemedición. O) Indicadores de nivel.	h. (M) Realizar un estudio de factibilidad para determinar la instalación de bloques automatizados en esferas y equipo de bombeo.
	Baja	Baja Presión	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Estéreo

Clave TE-402 Diámetro 16.164 m

Nodo 1:

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-402.

Diagrama No 2
D.T.I. Almacenamiento Y Manejo De
Propileno En El Tanque Estéreo TE-402.

Área 6: Almacenamiento de Gas L. P.

Capacidad 15 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GÜA	DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Seguridad	Más	Más Seguridad	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.
	Menos	Menos seguridad	IX Escasez de personal continuo.	9I Personal existente opera más de un turno esto puede causar errores (cansancio).	P) Procedimientos operativos. O) Rondines de verificación de presiones y niveles.	(B) Propuesta en f.
			X Se tienen válvulas de succión y recibo debajo de la sombra de la esfera.	10I Puntos de fuga debajo de la esfera. 11I En caso de un siniestro el acceso es inseguro y poco accesible.	R) El personal dobla turnos.	i (B) Instalar un control automático de temperatura en la esfera para activar sistema contra incendio. j (B) Realizar un estudio de factibilidad para la reubicación de las válvulas macho de succión y recibo fuera del dique del tanque esférico TE-402 conforme a la norma DG-GPASI-SI-3600.
			XI Alumbrado deficiente en el área de esferas.	12I Accidentes personales. 13I Errores de operación. 14I Escasa supervisión del área.	Cubierto por M.	(B) Propuesta en k.
			XII Se carece de detectores de mezclas explosivas.	15I Incendio y explosión.	S) Alarmas por alto y bajo nivel. T) Alarmas por alta y baja presión.	k (M) Suministro en tiempo y forma de luminarias a prueba de explosión.
			XIII La esfera no cuenta con protección por alta temperatura para activar el sistema contra incendio.	Como en 3.	U) El operador activa manualmente la alarma automática.	(B) Propuesta en i.

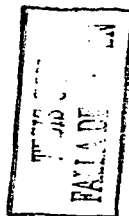
**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

1.4.2.1. Descripción Del Área 4:

El área de licuables [Diagrama 3] se encuentra perfectamente delimitada por una malla. Abarca dos cuadras de la planta, en las cuales están distribuidos 16 tanques esféricos [Tabla 25] que almacenan los productos obtenidos en la refinería.

Tabla 25: Características de las esferas de almacenamiento del área 4, Salina Cruz.

CLAVE	PRODUCTO	CAPACIDAD	DIÁMETRO
TE-11	Butano Butileno	10 000 BLS	14.63 m
TE-12	Butano Butileno	10 000 BLS	14.63 m
TE-13	Butano Butileno	10 000 BLS	14.63 m
TE-14	Propano Propileno	10 000 BLS	14.63 m
TE-15	Propano	10 000 BLS	14.63 m
TE-16	Rafinado	15 000 BLS	16.764 m
TE-17	Rafinado	15 000 BLS	16.764 m
TE-18	Propileno	10 000 BLS	14.6 m
TE-19	Propileno	10 000 BLS	14.6 m
TE-20	Propileno	10 000 BLS	14.6 m
TE-21	Butano Butileno	15 000 BLS	16.764 m
TE-22	Butano Butileno	10 000 BLS	14.478 m
TE-23	Isobutano	10 000 BLS	14.478 m
TE-24	Isobutano	10 000 BLS	14.478 m
TE-901A	Isomerizado	20 000 BLS	18.2 m
TE-901B	Isomerizado	20 000 BLS	18.2 m



Para el manejo de estos productos, en la zona existen dos Casas de Bombas [Tablas 26 y 27]:

- Casa de Bombas 4:

Tabla 26: Características del equipo de bombeo en la casa de bombas 4.

CLAVE	MANEJA	CARACTERÍSTICAS	SUCCIÓN DE TE-901 A/B.
BA-906 A/B	Isomero.		
O2-J-309	Isobutano (autotanques).	Compresor	
BA-401 A/B	Trasiego Butano.	Cap. 110 GPM. ΔP= 212 psi. BHP= 18.2 (25 HP).	TE-11, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23 y 24.
BA-312 A/B/C	Butano a Mezclado de Gasolina.	Cap. 100 GPM. ΔP= 100 psi. BHP= 8.9 (10 HP).	TE-11, 12, 13, 16, 17, 21, 22, 23 y 24.
BA-400 A/B/C	Gas Licuado a Terminal de Ventas.	Cap. 700 GPM. ΔP= 255 psi. BHP= 114 (125 HP).	TE-14 y 15 (C3) TE-11, 12, 13, 16 y 17 (L.P.G.)
BA-1232 A/C	Propano a Terminal de Ventas.	Cap. 1000 GPM. ΔP= 85 psi.	TE-14 y 15.
BA-1232 B/E	Propileno a Terminal de Ventas.	BHP= (54 HP).	TE-18, 19 y 20.

Tabla 26: Características del equipo de bombeo en la Casa de Bombas 4 (continuación).

CLAVE	MANEJA	CARACTERÍSTICAS	SUCCIÓN DE
BA-502 A/B	Butano Butileno a Terminal de Ventas.	Cap. 600 GPM. ΔP= 55 psi. BHP= (30 HP).	
BA-500 A/B	Propano Butileno a Fraccionadora I y II.	Cap. 70 GPM. ΔP= 130 psi. BHP= 7.6 (110 HP).	
BA-405 A/B	Butano Butileno a Pajaritos.	Cap. 315 GPM. ΔP= 570 psi. BHP= (150 HP).	TE-14 y 15.

• Casa De Bombas 4A:

Tabla 27: Características del equipo de bombeo en la casa de bombas 4A.

CLAVE	PRODUCTO	CARACTERÍSTICAS	SUCCIÓN DE
GA-301 A/B	Refinado	Tipo vertical	TE-16 y 17.
GA-317 A/B	Propileno	Tipo vertical	TE-18, 19 y 20.
GA-303 A/B	Isobutano	Tipo vertical	TE-23 y 24.
GA-318 A/B	Butano Butileno	Tipo vertical	TE-21 y 22.

Como sistema para aislamiento de emergencia todos los tanques esféricos en el casquete inferior poseen un anillo con tapones de plomo. En condiciones normales los tapones permiten el paso del aceite hidráulico a través de las líneas para mantener abiertas las vickers (válvulas para recibo y descarga del producto); pero, si están expuestos a un incendio o alta temperatura; los tapones se funden, lo cual, impide el paso del aceite hidráulico y hace que se cierren las vickers.

En todos los recipientes hay un sistema de telemedición, dos válvulas de alivio de presión (PSV's) excepto las esferas TE-901 A/B; detectores de mezclas explosivas en la parte superior (A) y la inferior (B) de la esfera, excepto las TE-13 (MG-13B), TE-14 (MG-14A/B) y TE-15 (MG-15B); línea igualadora de presión entre tanques con productos similares; además alarmas por alto y bajo nivel, excepto en los TE-901 A/B.

El área posee tres casetas con equipo contra incendio móvil. Las 16 esferas cuentan con sistema de diluvio (gorro japonés) y de rociado (aspersores) de agua para bañar toda la superficie metálica, y evitar altas temperaturas en caso de incendio. Para monitorear las concentraciones de hidrocarburos en el área existen nueve detectores de gas colocados en los diques de los tanques.

Con esta breve descripción y el diagrama de localización de equipo dentro del área 4 se espera facilitar la visualización de dicha zona de almacenamiento.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

TE-18, 19 y 20
 ALMACENAMIENTO: PROPANO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 14.476 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 210/275 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 150/130 °F.
 C/ESFERA CUENTA CON 2 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A LA ATM. A UNA PRESION DE 200 PSI

TE-25 y 24
 ALMACENAMIENTO: PROPANO/PROPENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 14.476 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 80/180 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 150/137 °F.
 C/ESFERA CUENTA CON 2 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A LA ATM. A UNA PRESION DE 130 PSI

TE-14
 ALMACENAMIENTO: PROPANO/PROPENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 14.476 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 280 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 300 °F.
 LA ESFERA CUENTA CON 2 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A UN CABEZAL A UNA PRESION DE 280 PSI

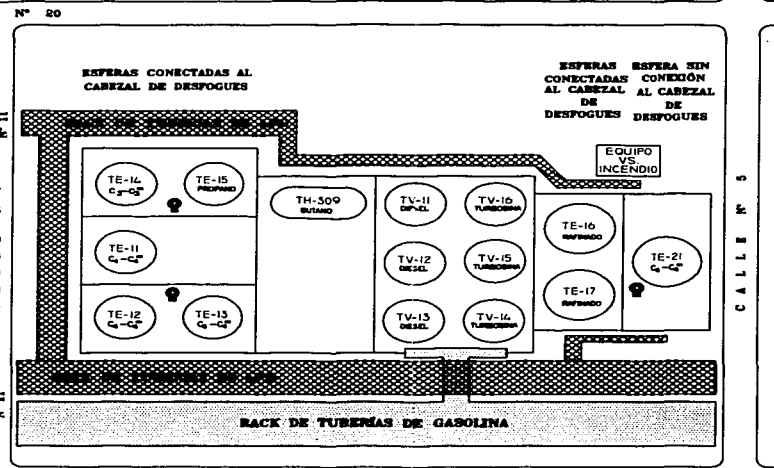
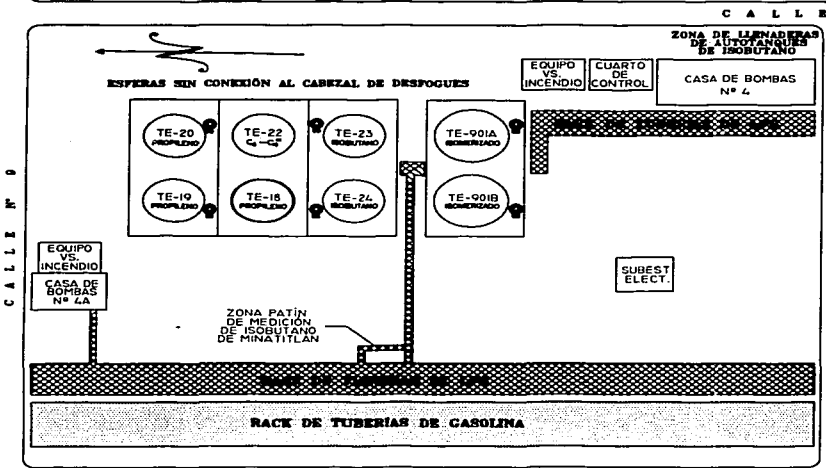
TE-15
 ALMACENAMIENTO: PROPANO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 14.476 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 280 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 300 °F.
 LA ESFERA CUENTA CON 2 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A UN CABEZAL A UNA PRESION DE 140 PSI

TE-21
 ALMACENAMIENTO: BUTANO-BUTILENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 16.794 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 125 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: °F.
 LA ESFERA CUENTA CON 1 PIV DE 8"IN.
 QUE DESFOGON A UN CABEZAL A UNA PRESION DE 125 PSI

BAROLOGA
 DETECTOR DE FUEGO
 C_4-C_2
 C_3-C_2
 MEZCLA DE BUTANO-BUTILENO
 MEZCLA DE PROPANO-PROPENO

DESCRIPCION DEL AREA.

- Todos los tanques estacionados cuentan con:
- equipo de inhibición.
 - 2 vehículos vigantes, a excepción de los TE-601A que cuentan con solo uno.
 - sistema de alarmas (alarma en la zona de los tanques vigantes, e inhibición de incendio en el área exterior e interior).
 - detectores de mezcla de explosivos (E-1) (A) y sistema de los tanques TE-15 y TE-19 en el mismo momento y TE-14 en ambos (A) (B).
 - sistema de temperatura por retroalimentación (RTD) dentro los tanques TE-601A y TE-601B.
 - línea de medición de presión compartida de la reparte suma
 - TE-11
 - TE-12 y TE-13
 - TE-14 y TE-15
 - TE-16, TE-17 y TE-21
 - TE-18, TE-19 y TE-20
 - TE-22, TE-23 y TE-24
 - TE-601A y TE-601B
 - alarmas por alta y baja nivel, excepto los tanques TE-601A y TE-601B.
 - indicador de temperatura en el domo únicamente TE-11, TE-12 y TE-13.
 - indicador de temperatura exterior excepto los TE-11-16, TE-21 y TE-24.



TE-22
 ALMACENAMIENTO: BUTANO-BUTILENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 14.476 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 80/180 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 100/137 °F.
 LA ESFERA CUENTA CON 2 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A LA ATM. A UNA PRESION DE 130 PSI

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TE-901 A/B
 ALMACENAMIENTO: BOMBARDADO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 16.7 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: / PSI.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: / °F.
 LA ESFERA CUENTA CON 1 PIV DE 8"IN.
 QUE DESFOGON A LA ATM. A UNA PRESION DE 40 PSI

TE-11, 12 y 13
 ALMACENAMIENTO: BUTANO-BUTILENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 14.476 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 140 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 84 °F.
 LA ESFERA CUENTA CON 1 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A UN CABEZAL A UNA PRESION DE 140 PSI

TE-16 y 17
 ALMACENAMIENTO: BUTANO-BUTILENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 DIÁMETRO: 16.794 M.
 PRESIÓN OPERACION/OBSEDO: 125 PSIG.
 TEMPERATURA OPERACION/OBSEDO: 150.5 °F.
 C/ESFERA CUENTA CON 2 PIV DE 4"IN.
 QUE DESFOGON A UN CABEZAL A UNA PRESION DE 310 PSI

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

HISTORIA

- Los TE-11 y TE-18 ya operaban en 1984
- Los TE-16, TE-17 y TE-21 estaban aprobados en 1980-84
- Los TE-22, TE-23 y TE-24 se construyeron en 1980
- Los TE-16, TE-18 y TE-20 se construyeron en 1987 y en 1988 en los que se controla de incendios.
- De los TE-601A y TE-601B no hay referencias.

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Ingeniería
 Química E. Lab. 712

Analisis de Riesgos
 En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propano

DIAGRAMA DE LOCALIZACION DE TANQUES REFERENCIAL EN EL AREA N° 4

3



1.4.2.2. Descripción del nodo 2: Tanque Esférico TE-18.

Dentro de la zona de almacenamiento de Licuados (Área 4) se localiza la esfera TE-18, en ella se almacena el propileno procedente de las plantas catalíticas FCC-I y FCC-II (Torres Despropilinizadoras).

El propileno tiene dos destinos y para llegar a ellos es succionado por:

- La bomba GA-317 A/B (en Casa de Bombas 4 A) cuya descarga se dirige a la planta de alquilación,
- La bomba BA-1232 B/E (en Casa de Bombas 4) cuya descarga va hacia ventas.

La esfera [Diagrama 4] cuenta con una capacidad de 10 000 barriles (1 590 m³), normalmente se emplea sólo al 80%; tiene un diámetro de 47.9 ft (14.6 m), su presión de diseño es de 275 psig (19.3 kg/cm²) y la de operación de 170 psig (12 kg/cm²); la temperatura de diseño es de 120°F (48.8°C) y de operación 93.2°F (34°C).

El casquete superior del TE-18 cuenta con la siguiente instrumentación:

- Y Detector de mezclas explosivas
- Y Indicador de nivel en campo y tablero
- Y Indicador de presión en campo en tablero,
- Y Indicador de temperatura en campo y tablero
- Y Alarma por alto nivel
- Y Alarma por alto nivel redundante,
- Y Alarma por alta presión
- Y Alarma por alta temperatura
- Y Sistema de telemedición,
- Y Línea igualadora de presión,
- Y Sistema en paralelo de dos válvulas PSV's (18 A/B de 4"x6") a una presión de 265.4 psig (18.66 Kg/cm²) **que aumenta el nivel de seguridad al redundar en este elemento,**
- Y Cuenta con una válvula macho (4" de diámetro) antes de cada PSV, esto, **permite realizar mantenimiento constante sobre una de las válvulas PSV sin dejar al equipo sin protección,**
- Y Cada válvula tiene una tubería de escape independiente (2 metros) sin cambios de diámetros.

El casquete inferior de la esfera cuenta con:

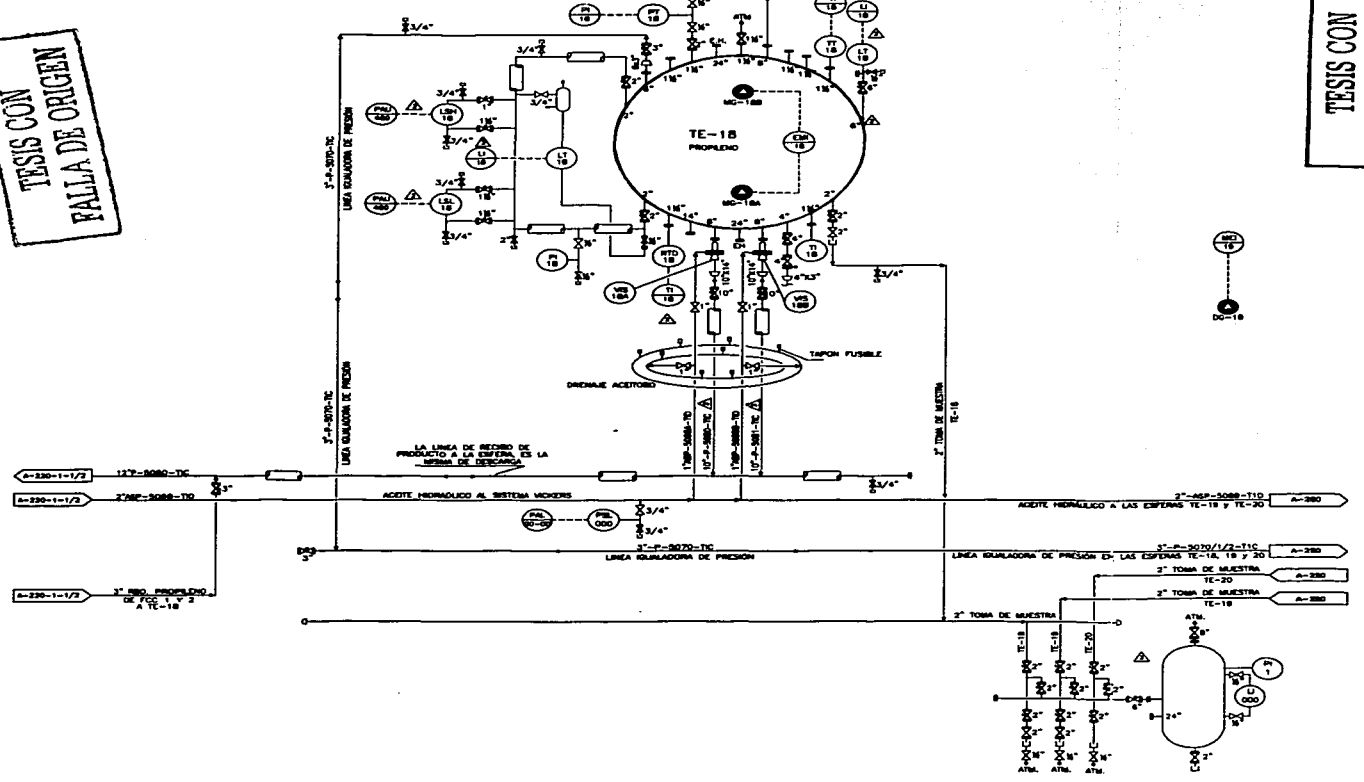
- Y Detector de mezclas explosivas
- Y Alarma por bajo nivel
- Y Indicador de temperatura
- Y Tiene dos válvulas vickers (VIS 18 A/B) para recibo y descarga del producto (14" de diámetro), con un anillo con tapones fusibles de plomo.

Posee un sistema de diluivo (gorro japonés) de agua contraincendio en la parte superior. Para monitorear las concentraciones de hidrocarburos, en el dique del tanque esférico hay un detector de gas.

TE-18
ALMACENAMIENTO DE PROPILENO
 CAPACIDAD: 10,000 BLS.
 PRESIÓN OPERACION/DISEÑO: 14.78/19.33 Kg/cm²
 TEMPERATURA OPERACION/DISEÑO: 37.77/48.88 °C.
 DIÁMETRO: 14.6 M.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



SIMBOLOGÍA

- SV VALVULA MARCHA BREVADA
- DC VALVULA DE CERRADURA
- BC VALVULA DE CERRADURA BREVADA
- CV VALV. DE COMP. BREVADA C/ABRITA CIEGA
- W VALVULA WICKERS
- OV VALVULA DE PURGA O VENTED
- BR BREVADA
- CC REDUCCION CONCENTRICA
- AS ASLAMIENTO
- FL FLECHA DE FLUJO
- NR NUMERO DE REVISION
- DE DETECTOR DE MEZCLAS GASEOSAS
- AL VALVULA DE ALARMO
- ENTRADA Y SALIDA DE UN PLANO A OTRO
- T TAPON PRESION
- TF TAPA TORRENTIFICADA
- IT INDICADOR EN TABLERO O CONSOLA
- IC INDICADOR EN CAMPO
- PSV IDENTIFICACION DE PSV
- LINEA ELECTRICA

ABREVIATURAS

- PSV VALVULA DE SEGURIDAD DE PRESION
- TT TRANSMISOR DE TEMPERATURA
- TI INDICADOR DE TEMPERATURA
- LT TRANSMISOR DE NIVEL
- LI INDICADOR DE NIVEL
- PI INDICADOR DE PRESION
- PT TRANSMISOR DE PRESION
- LSM SWITCH POR ALTO NIVEL
- LSN SWITCH POR BAJO NIVEL
- MD INDICADOR DE MEZCLAS EXPLOSIVAS
- RTD SENSOR DE TEMPERATURA (DIFERENCIAL) POR RESISTENCIA
- W VALVULA TIPO WICKERS
- PSL SWITCH POR BAJA PRESION
- PAL ALARMA POR BAJA PRESION

PROYECTADO	REVISADO
COMPROBADO	APROBADO
FECHA	FECHA

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Ingeniería (FI)
 Campus F. Lab. 217

Análisis de Riesgos
 En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propileno

DIAGRAMA DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION
 ALMACENAMIENTO Y MANEJO DE PROPILENO EN EL
 TANKING ESPERINCO TE-18

AREA	FECHA
ALCANTARILLADO	4
INSTRUMENTACION	4
PLANO	3



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)

-Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Estanco

Clave TE-18

Diámetro 14.6 m

Nodo 2

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Diagrama No 4

D.T.1 Almacenamiento Y Manejo De Propileno En El Tanque Esférico TE-18

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Temperatura	Alta	Alta Temperatura	I Incendio por fuga de producto de líneas o tanques en las calle 18 o calle 20.	1I (M) Represionamiento del TE-18. 2I (M) Relevo de las válvulas PSV-18 A/B. 3I (A) BLEVE. 4I (M) Incendio y explosión.	A) Procedimientos para trabajos de corte y soldadura. B) Procedimientos operacionales, señal sonora (cometa neumática) para notificar que se están realizando trabajos de purga y venteo. C) Se tiene delimitada el área de alto riesgo. D) Está prohibido el uso de máquinas de soldar de combustión interna. E) Se cuenta con un sistema de tierras instalado. F) Se cuenta con detector de mezclas explosivas MG-18 A/B. G) Se cuenta con sistema de vickers. H) Se cuenta en la esfera con un sistema de diluivo PAL-18 (20Kg/cm ²) que opera automáticamente.	a (M) Instalar un circuito cerrado de televisión (CCTV) con señal al centro de operación de emergencias. b. (M) Hacer un estudio para determinar en donde se debe instalar un sistema de apartarayos. c. (M) Cumplir al 100% con la integridad eléctrica del sistema de tierras. d (M) Instalar detectores de fuego en los tanques esféricos. e. (M) Cumplir con el programa de inspección y reparación de tanques esféricos (al momento se tienen dos esteras con fecha de revisión vencida, TE-14, 15).
			II Incendio en la base o alrededor del tanque esférico TE-18.	Considerada en 1 y 2. 5I (M) Daños a la instrumentación y estructura. 6I (M) Falla del material del recipiente.	Cubierta por B, C, D, E, F, G, y H. J) Se tiene instalado un arreglo con prolongación en la línea de desfogue para evitar la incidencia de flama en la parte baja de la descarga de la válvula PSV-18.	Propuesta en a, b, c, d y e.



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tpo Tanque Esténco

Cve: TE-18

Diámetro 14.6 m

Nodo 2.

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Dayama No 4
D T1 Almacenamiento Y Manejo De
Propileno En El Tanque Esténco TE-18

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUIA	DESVIACION	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Nivel	Alto	Alto Nivel	III Alto nivel en el tanque esférico TE-18.	Considerada en 1, 2, 3 y 4. 7I (M) Fractura en soldaduras. 8I (M) Fuga entre bridas.	Cubierta por F y H. J) Alarma por alta temperatura TAH-18. K) Alarma por alta presión PAH-18. L) Alarma por alto nivel LAH-18 (físico). M) Alarma por alto nivel (redundante) LAH-18. N) El sistema vickers cuenta con tapones fusibles que funcionan con aceite hidráulico. O) Sistema contra incendio de anillos de enfriamiento automático local y desde tablero. P) Alarma por alto nivel LAHH-18. Q) Inspecciones periódicas de los recipientes sujetos a presión, de acuerdo al procedimiento: GPASIT-003 (la cual pide se radiografien las cruces, inspección ultrasónica, medición de espesores y prueba hidrostática). R) Línea igualadora.	Propuesta en a. f. (M) Habilitar un interlock con válvula automática para desviar o bloquear el flujo por alto nivel. g. (M) Candadear o fijar la válvula macho de la igualadora de presión en posición de abierta. h. (A) Asegurar el cumplimiento del mantenimiento preventivo a la válvula igualadora de presión. i. (M) Mantener candeadas en posición abiertas las válvulas de entrada a las PSV's. j. (M) Asegurar el cumplimiento del programa de calibración preventiva del circuito de protecciones. k. (M) Asegurar el candeeo o fijado de las válvulas macho de bloqueo a las PSV's en posición de abierto, de acuerdo a un procedimiento de inspección, candeeo y autorización para abrir y cerrar dichas válvulas, de acuerdo a la norma PEMEX DIII-32-4 y al código internacional.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Esférico

Clave TE-18

Dámetro 14.6 m

Nodo 2.
Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Diagrama No 4
D.T.I. Almacenamiento Y Manejo De
Propileno En El Tanque Esférico TE-18

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Nivel	Bajo	Bajo Nivel.	IV Falla de instrumentos.	9i (B) Cavitación del equipo de bombeo. 10i (B) Daños al equipo de bombeo.	S) Alarma por bajo nivel en el sistema de telemedición. T) Alarma redundante por bajo nivel. U) Disparo eléctrico del motor.	l. (B) Continuar cumpliendo con el programa preventivo de mantenimiento de instrumentos (sistema de telemedición y alarmas por alto y bajo nivel).
			V Fuga Mayor en conexiones.	11i (B) Posible conato de incendio.	Cubierta por B y H.	m. (B) Continuar cumpliendo con el programa de inspecciones preventivas de riesgos (I.P.R.).
			VI Error Humano (el operador realiza otros trabajos y descuida el sistema de bombeo).	Considerada en 9 y 10.	V) Cumplir con el reglamento de labores. W) Aplicar procedimiento de trabajo.	n. (B) Cumplir con: - Reglamento de labores. - Procedimiento de trabajo.

**TIPO CON
FALLA DE ORIGEN**



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tpo. Tanque Estéreo.

Clave TE-18

Dímetro 14.6 m

Nodo 2.

Almacenamiento y manejo de Propieno en el tanque esférico TE-18.

Dayana No 4
D.T.I. Almacenamiento Y Manejo De
Propieno En El Tanque Estéreo TE-18.

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad: 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Presión	Alta	Alta Presión	Vii Alta temperatura en el producto.	Considerada en 2, 3, 4, 7 y 8.	Cubierta por F, H, J, K, L, M, N, O, P y Q.	Propuesta en a, g, h, i, j y k.
			Viii Falla o bloqueo en válvula de la línea igualadora.	Considerada en 1, 2, 3, 7 y 8	Cubierta por F, H, K, N, O y Q.	o. (B) Habilitar un interlock con válvula automática para desviar o bloquear el flujo por <u>alta presión</u> . p. (M) Asegurar el mantenimiento y calibración de PSV's.
			IX Fuego externo.	Considerado en 1, 2, 3, 5 y 7.	Cubierta por F, H y N. X) Trabajos de soldaduras en tanques esféricos al mínimo.	q. (B) Seguir cumpliendo con los programas de mantenimiento. r. (B) Continuar con el número mínimo de trabajos de soldadura en tanques esféricos.
	Baja	Baja Presión.	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Esférico

Clave TE-18

Diámetro 146 m

Nodo 2

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Diagrama No. 4
D.T1. Almacenamiento Y Manejo De
Propileno En El Tanque Esférico TE-18

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad: 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Instrumentación	Más	Más Instrumentación.	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.
	Menos	Menos Instrumentación	X No se cumple con el mantenimiento preventivo.	12I (A) Lecturas erróneas, descontrol operacional. 13I (A) Relevo de válvulas de seguridad.	Y) Se realizan dos mantenimientos preventivos al año del sistema de telemedición, alarmas por alto y bajo nivel, por alta temperatura y por alta presión. Z) Se efectúa la revisión y calibración de los circuitos de protecciones dos veces al año. AA) Cambio de instrumentación en periodos de 5 años, de acuerdo al programa institucional de reparaciones.	s. (A) Seguir cumpliendo con los mantenimientos preventivos.
			XI El residuo que trae el producto (por ejemplo se tapa un tubing).	14I (M) Falso de señal.	No se tiene ninguna.	l. (M) Se debe cumplir con las especificaciones del producto.
		XII Por falla de corriente eléctrica.	15I (A) Se depresiona el sistema hidráulico con posibilidad de que se cierren las válvulas internas de seguridad (vickers).	BB) Bloqueo del sistema vickers. CC) Experiencia de los operadores para actuar con prontitud. DD) Programas de simulacros operacionales a falla de energía eléctrica. EE) Se tiene un procedimiento de emergencia a falla de energía eléctrica.	u. (M) Tener un inversor que suministre la energía eléctrica momentáneamente a los instrumentos. v. (M) Incrementar la capacitación y establecer un procedimiento de selección riguroso para el personal que labora en esa área.	

TE-18
FALLA DE ORIGEN



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tpo Tanque Estenco

Cleve TE-18

Diámetro 146 m

Nodo 2.

Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Diagrama No 4

D T1 Almacenamiento Y Manejo De Propileno En El Tanque Estenco TE-18.

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUIA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Estructura.	Más	Más Estructura.	No aplica	No aplica.	No aplica	No aplica.
	Menos	Menos Estructura.	XIII Corrosión.	16I (M) Penetración del agua a través del recubrimiento retardante al fuego.	FF) Programa de inspección preventiva de riesgos (I.P.R.). GG) Programa de mantenimiento institucional.	w. (B) Continuar efectuando el programa de Inspección Preventiva de Riesgos (I.P.R.) y el de Mantenimiento Institucional. x. (B) Mantener adecuadamente el recubrimiento anticorrosivo en el área de esferas.
			XIV Agentes externos (por encontrarse la refinería en zona sísmica).	17I (B) Fisura en tanques esféricos, estructuras y líneas.	HH) Realizar un estudio de verificación actual analizando los efectos de sismos anteriores con valores mayores de movimientos telúricos.	y. (B) Después del sismo se debe revisar el estado en que se encuentran las líneas, tanques esféricos y estructuras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
- Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Esférico

Clave TE-18 Diámetro 14.6 m

Nodo 2.
Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Diagrama No. 4
D.T.I Almacenamiento Y Manejo De Propileno En El Tanque Esférico TE-18

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUÍA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Seguridad	Más	Más Seguridad.	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.
	Menos	Menos Seguridad	XV Núcleo Poblacional muy cerca de la refinería.	18I (A) Posible fuente de ignición.	1I) Seguir cumpliendo con la filosofía operacional. JJ) CRAME (Comité Regional de Atención y Manejo de Emergencias) KK) Cumplimiento de mantenimiento preventivo de instrumentos, válvulas de seguridad, detectores de gas y sistema de agua contra incendio.	z. (B) Reubicar el núcleo poblacional (mediante la expropiación de terrenos).
			XVI Conato de incendio en los alrededores de tanques esféricos.	Considerada en 3.	Cubierta por H.	aa. (M) Tener en óptimas condiciones el sistema de diluvió. bb. (M) Seguir cumpliendo con el mantenimiento a las válvulas macho de todo este sistema.
			XVII Falta de Apartarayos.	Considerada en 4.	Cubierta por E y H.	Propuesta en b.
XVIII Falta de sistema de tierras por robo.	19I (B) Acumulación de energía estática (cualquier golpe de metal con metal provoca descarga eléctrica e incendio potencial al tener una fuga cercana).	LL) Rondines de vigilancia.	Propuesta en m. cc. (B) Mantener en forma eficiente el sistema eléctrico de iluminación.			

1000
FALLA DE ORIGEN



Análisis De Riesgos Y Operabilidad (HazOp)
-Hojas De Trabajo -

Tipo Tanque Esférico

Clave TE-18

Dámetro 14.6 m

Nodo 2.
Almacenamiento y manejo de Propileno en el tanque esférico TE-18.

Diagrama No 4
D.T.I Almacenamiento Y Manejo De
Propileno En El Tanque Esférico TE-18.

Área 4: Almacenamiento de Licuados.

Capacidad 10 000 BLS

PARAMETRO	PALABRA GUIA	DESVIACIÓN	CAUSAS	CONSECUENCIAS	PROTECCIONES	RECOMENDACIONES
Mantenimiento.	Adecuado	Mantenimiento Adecuado.	No aplica.	No aplica.	No aplica.	No aplica.
	Inadecuado	Mantenimiento inadecuado.	XIX Falta de presupuesto.	20I (A) Trabajos de baja calidad.	MM) Iniciativa del personal.	dd. (A) Asignar recursos.
			XX Necesidades operacionales (el equipo sigue operando cuando ya tiene programado su mantenimiento).	21I (A) Retraso en la fecha del programa de reparaciones.	NN) Programa de reparaciones de acuerdo a normalidad.	ee. (M) Continuar cumpliendo con los programas de acuerdo a normalidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. ÁRBOL DE FALLAS.

Con el objetivo de practicar una metodología del análisis se elaborará el árbol de fallas con el escenario potencial de accidente "Explosión (BLEVE) de un Tanque Esférico" para las esferas TE-402 y TE-18. Durante el desarrollo de la metodología se podrá observar que aunque son sistemas similares, cada uno tiene su individualidad y esta se manifestará en el valor obtenido de la probabilidad para cada evento culminante.

La técnica de árboles de fallas es un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de las fallas básicas de los elementos que intervienen en él.

Proporciona resultados cualitativos como cuantitativos; en la forma cualitativa facilita la apreciación de aquellos sucesos menos probables porque requieren la ocurrencia simultánea de varias causas, o bien, qué sucesos pueden generar el accidente; en cuánto al aspecto cuantitativo permite determinar la probabilidad de que suceda el evento culminante.

2.1. Etapas de elaboración para un árbol de fallas.

Dentro de la técnica del árbol de fallas resaltan dos etapas bien diferenciadas:

2.1.1. Construcción del Árbol.

En la etapa de elaboración del árbol se integran todos los conocimientos sobre el funcionamiento y la operación del área de estudio, pues de la definición clara y precisa del *suceso «no deseado»* o *evento culminante* depende todo el desarrollo del árbol.

Definido el evento culminante, se coloca en la cúspide de la estructura gráfica del árbol, en seguida, éste es descompuesto sistemáticamente en las causas que contribuyen directamente a su ocurrencia, estos *eventos intermedios* son relacionados lógicamente mediante las *puertas* **Y** y **O**, constituyendo así el primer nivel del árbol.

A continuación cada evento intermedio se descompone de forma similar al evento culminante. Este procedimiento se repite sucesivamente hasta llegar, lo más posible, a los *eventos básicos* que a menudo son suficientemente frecuentes como para permitir su estudio estadístico. En algunos casos, ciertos eventos no se desarrollaron más porque salen del alcance del estudio o son eventos causados por agentes externos.

Durante la descomposición del árbol, los eventos son enumerados por niveles para facilitar su identificación. Construida la estructura gráfica del árbol se procede a asignar las probabilidades para cada evento, recordando que "La predicción de los fallos de un equipo habitualmente se realiza de manera empírica" (Ref. 16).

En este caso particular, para asignar las probabilidades a los eventos se partió de los índices de frecuencias con que, durante las sesiones HazOp los calificaron los ingenieros; finalmente, con las tablas 15 y 17 y 28, se determinó la probabilidad que correspondía a dicha frecuencia.

Tabla 28: Frecuencia probable y Probabilidad. (Ref. 15)

PROBABILIDAD (P)	FRECUENCIA PROBABLE (F)
10^0	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
10^{-1}	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
10^{-3}	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10^{-5}	Poco probable (no se ha presentado en cinco años)
10^{-7}	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
10^{-9}	No se ve probabilidad de que ocurra

De esta forma, la probabilidad asignada para cada evento esta basada en la experiencia de todo el equipo de trabajo que participó en las sesiones HazOp.

2.1.2. Tratamiento cualitativo.

Para realizar el *tratamiento cualitativo*, es necesario reducir la lógica del árbol hasta obtener las combinaciones mínimas de sucesos primarios cuya ocurrencia simultánea garantiza la ocurrencia del suceso «no deseado». Cada una de estas combinaciones, también llamadas conjunto mínimo de corte (*minimal cut-set* en inglés), corresponde a la intersección lógica (en Álgebra de Boole) de varios sucesos elementales.



Debido a que el Árbol de Fallas para la explosión (BLEVE) de un tanque esférico (TE-402/18) tiene eventos repetidos dentro de su estructura se empleó un método de cálculo que no permite repetir indebidamente las probabilidades de falla de tales eventos.

El método de cálculo para obtener los conjuntos mínimos consistió en (Ref. 5):

1. Reducir la lógica del árbol hasta obtener las combinaciones mínimas de sucesos básicos cuya ocurrencia simultánea garantiza la ocurrencia del suceso «no deseado», enseguida expresar el evento culminante con sus eventos intermedios recordando para los conectores lógicos que **Y** significa multiplicación y **O** suma.

Sustituyendo sucesivamente todas las causas de los eventos intermedios y aplicando simultáneamente en la reducción del árbol, algunas de las equivalencias del álgebra de Boole señaladas en la tabla 30, el evento tope es expresado únicamente con eventos básicos:

Tabla 29: Equivalencias en Álgebra Booleana. (Ref. 5, 12)

Equivalencias	Expresión Matemática	Equivalencias	Expresión Matemática
Commutativa	$A * B = B * A$ $A + B = B + A$	Tautológicas	$A * A = A$ $A + A = A$
Asociativa	$A * (B * C) = (A * B) * C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$	Distributiva	$A * (B + C) = (A * B) + (A * C)$ $A + (B * C) = (A + B) * (A + C)$
De Absorción	$A * (A + B) = A$ $A + (A * B) = A$	Otras	$A + 0 = A$ $A * 0 = 0$ $A + 1 = 1$ $A * 1 = A$

El empleo del álgebra de Boole en la reducción del árbol de fallas permite asegurar cuando hay eventos básicos similares en otros eventos intermedios que ninguno sea repetido inadecuadamente.

2. La probabilidad del evento culminante se determina separando los Conjuntos Mínimos obtenidos en el punto 1.
3. A cada conjunto mínimo se le otorga un número de referencia, y se ordenan.
4. El ordenamiento de los conjuntos mínimos se hace de acuerdo a su importancia estructural, la cuál está basada en la suposición de que una secuencia que involucra a dos eventos es más probable de ocurrir, que una que involucra a 4 elementos.



5. Se calcula la probabilidad para cada conjunto mínimo como el producto de las probabilidades de cada evento que lo forman.

6. Se calcula la probabilidad (P) del evento culminante (E.C.) como la suma de las probabilidades de cada conjunto mínimo (C.M), esto es:

$$P(E.C.) = \sum P(C.M.)_n$$

7. En caso de que se desee determinar qué elementos son los más relevantes en la estructura se calcula la importancia de cada conjunto mínimo (I.C.M.)_n, mediante la siguiente fórmula:

$$(I.C.M.)_n = \frac{P(C.M.)_n}{\sum P(C.M.)_n} * 100$$

2.1.3. Análisis de Resultados.

Finalmente, se obtendrá una tabla (ver tabla 31) con datos de cada conjunto mínimo de fallos, dónde la primera columna corresponde al punto 3; la segunda columna al punto 4, la tercera columna al punto 5 y la última columna al punto 7. Del estudio y análisis de esta tabla se podrán obtener las conclusiones cualitativas sobre la importancia de cada evento.

Con los datos obtenidos en la última columna de la tabla pueden reconocerse aquellos conjuntos mínimos con alto valor de importancia, con ayuda de la columna 4 y la tabla de eventos básicos; se podrá saber cuales eventos, en caso de presentarse simultáneamente generarían consecuencias indeseables o bien, son críticos para la instalación.

De esta manera, las recomendaciones que genera el estudio estarán encaminadas a: Proponer medidas de seguridad que eviten que esos eventos ocurran al mismo tiempo, o bien colocar protecciones adicionales como: instrumentos de control capaces de corregir la desviación antes de que se produzcan tales consecuencias.

2.2. Aplicación de la técnica de árbol de fallas.

2.2.1. Descripción del Evento Culminante.

En la primera etapa del análisis de riesgos se hicieron hipótesis sobre los posibles escenarios de accidentes; de esta variedad se seleccionó el siguiente evento culminante para el desarrollo del árbol de fallas:



"Explosión (BLEVE) de un tanque esférico" considerando que, aunque es un evento muy poco probable, en caso de materializarse produciría consecuencias altamente catastróficas.

La BLEVE ocurre cuando se fractura o rompe un recipiente conteniendo un líquido bajo presión y a una temperatura significativamente arriba de la temperatura normal de ebullición. Conforme esto pasa, el líquido se vaporiza casi instantáneamente y se expande aumentando su volumen original más de 200 veces con una fuerza explosiva.

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

La causa más frecuente de explosiones BLEVE es la **exposición directa al fuego** de un contenedor, y esta ocurre de la siguiente forma:

- a. A medida que se recibe calor del fuego externo, simultáneamente se calientan las paredes del recipiente y como, las paredes del contenedor por debajo del nivel del líquido son enfriadas por el mismo líquido, se genera un aumento en la temperatura del líquido y un aumento en la presión del tanque.
- b. Si las flamas alcanzan las paredes del tanque donde solamente hay vapor y no hay líquido que remueva el calor generado, la **temperatura del tanque aumenta** hasta que éste se debilita o **pierde su resistencia mecánica**.
- c. El proceso eventualmente da origen al colapso del recipiente, originando una onda de choque de enorme poder destructivo, acompañada de la formación de proyectiles provenientes del propio recipiente, que a menudo son de gran tamaño. Además, las llamas del incendio garantizan la inmediata ignición de la mezcla en expansión si ésta es inflamable.
- d. Las válvulas de seguridad no protegen de este tipo de fenómeno, ya que usualmente la fractura del contenedor sucede a una presión menor a la presión de calibración de la válvula de seguridad.

Algunas veces la ruptura del recipiente se produce simplemente porque se ha **sobrepasado su resistencia mecánica**, debido a sobrepresión accidental (sobrellenado), fallas de material (corrosión y/o soldaduras), impactos físicos, etc., **sin concurso de fuego exterior**. En este caso la ignición puede producirse de todas formas durante la ruptura del recipiente, o en su caso retrasarse hasta que la nube en expansión encuentra una fuente apropiada, pero los efectos son los mismos.

De esta forma, los acontecimientos que directamente pueden generar una BLEVE en un recipiente presurizado son:

- Las posibles fallas que generen una sobrepresión interna, sin participación de fuego, junto a las posibles fallas que produzcan el debilitamiento de la estructura del tanque,
- Dentro de las fallas que originan una sobrepresión sin participación de fuego están el sobrellenado y fallas en elementos que sirven para regular o controlar la presión.
- Las fallas que producen el debilitamiento del tanque pueden ser debido a, por un lado, al deterioro y/o adelgazamiento de la estructura del tanque y, por el otro, a la pérdida de resistencia mecánica del recipiente.

2.2.2. Descripción del sistema a analizar.

Las características de cada tanque esférico aparecen en las páginas 69 y 79 del presente capítulo, pero mediante la siguiente lista de verificación [Tabla 30] se pueden observar las salvaguardas que posee cada tanque:

Tabla 30: Lista de verificación para las esferas TE-402 y TE-18.

Referencia	Esfera TE-402	Esfera TE-18
Sistema de telemedición (presión, temperatura y gravedad específica)	SI	SI
Válvulas de seguridad para alivio de presión (PSV's)	SI	SI
PSV desfoga a un cabezal	SI	N.A.
PSV desfoga a la atmósfera	N.A.	SI
Indicador de nivel (tope y fondo de la esfera)	SI	SI
Alarma por alto y Bajo nivel	SI	SI
Alarmas por alta temperatura	NO	SI
Alarmas por alta y baja presión	SI	SI
Sistema de detección de hidrocarburos	NO	SI
Sistema contra incendio (diluvio, rociadores, extintores fijos y móviles)	SI	SI
Sistema contra incendio activado automáticamente	NO	SI

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Referencia	Esfera TE-402	Esfera TE-18
Sistema de tierras instalado	SI	SI
Sistema para aislamiento de emergencia (Válvulas vickers)	SI	SI
Manómetro en la parte superior	SI	SI
Válvula de control de presión que va al tanque separador	SI	N.A.
Línea igualadora de presión	N.A.	SI
El área de alto riesgo esta delimitada	NO	SI
Programa de calibración de espesores	SI	SI
Programa de mantenimiento preventivo	SI	SI
Procedimientos para trabajos de corte y soldadura o de purga y venteo	SI	SI

SI: Indica que cuenta con esa protección o instrumentación, NO: No dispone de ese elemento; N.A. No Aplica.

2.2.3. Árboles de fallas y conjuntos mínimos.

A continuación se presentan los eventos básicos de cada árbol de fallas, así como las tablas de conjuntos mínimos que son capaces de generar el evento culminante.

Tabla 31: Eventos básicos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-402". Ver diagrama 5.

NO.	EVENTOS BÁSICOS	PROBABILIDAD
B1	Falla la válvula de control de presión (PC-402) que va al TL-402	1E-7
B2	Falla del sistema contraincendio	1E-9
B3	Agentes externos (sismos, huracanes, etc.)	1E-5
B4	Falla por desperfectos mecánicos (incorrecta selección, mal soldadura, etc.)	1E-9
B5	Fallan los instrumentos de nivel (indicadores y/o alarmas)	1E-7
B6	Error humano por descuido	4E-2
B7	Falla de válvulas Vickers (no hay salida de producto)	1E-9
B8	Falla el programa de mantenimiento (calibración, recubrimiento anticorrosivo, etc)	1E-7
B9	Bloqueo de PSV cerrado	1E-2
B10	Radiación térmica	1E-9
B11	Falla de decisión (se opera en límite de retro o con mantenimiento ya programado)	1E-9
B12	Fuente de ignición por error humano (trabajos de corte o soldadura)	1E-9
B13	Falla en conexiones o bridas (mal selladas)	1E-7
B14	Falla por fractura de tuberías	1E-7

TELS CON
 FALLA DE ORIGEN

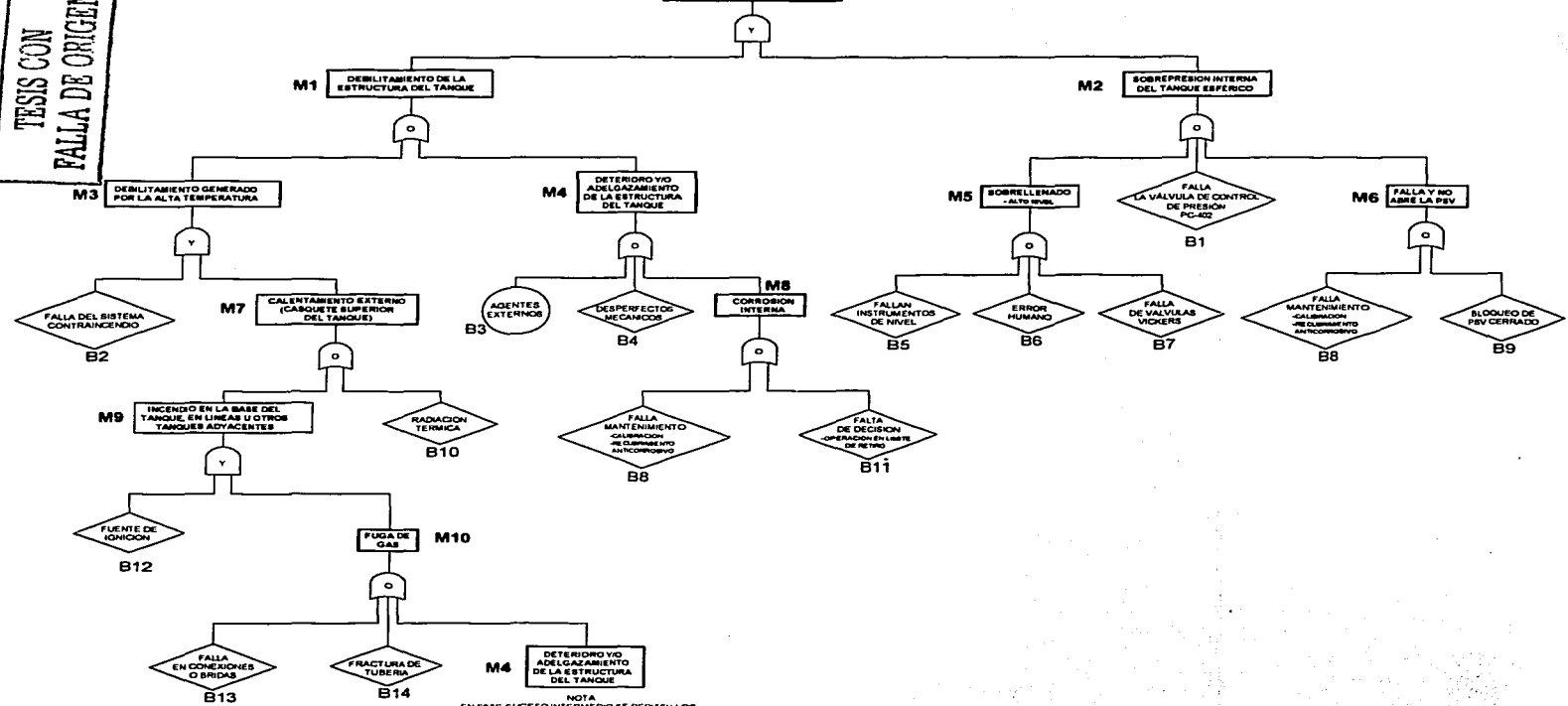
Tabla 32: Conjuntos mínimos para el árbol de fallas *BLEVE en el tanque esférico TE-402*.

No.	CONJUNTOS MÍNIMOS	PROBABILIDAD DEL CONJUNTO MÍNIMO (P)	IMPORTANCIA DEL CONJUNTO MÍNIMO P*100/Sp
C1	B8	1.000E-07	1.666E+01
C2	B1B3	1.000E-12	1.666E-04
C3	B1B4	1.000E-16	1.666E-08
C4	B1B11	1.000E-16	1.666E-08
C5	B3B5	1.000E-12	1.666E-04
C6	B3B6	4.000E-07	6.666E+01
C7	B3B7	1.000E-14	1.666E-06
C8	B3B9	1.000E-07	1.666E+01
C9	B4B5	1.000E-16	1.666E-08
C10	B4B6	4.000E-11	6.666E-03
C11	B4B7	1.000E-18	1.666E-10
C12	B4B9	1.000E-11	1.666E-03
C13	B5B11	1.000E-16	1.666E-08
C14	B6B11	4.000E-11	6.666E-03
C15	B7B11	1.000E-18	1.666E-10
C16	B9B11	1.000E-11	1.666E-03
C17	B1B2B10	1.000E-25	1.666E-17
C18	B2B5B10	1.000E-25	1.666E-17
C19	B2B6B10	4.000E-20	6.666E-12
C20	B2B7B10	1.000E-27	1.666E-19
C21	B2B9B10	1.000E-20	1.666E-12
C22	B1B2B12B13	1.000E-32	1.666E-24
C23	B1B2B12B14	1.000E-32	1.666E-24
C24	B2B5B12B13	1.000E-32	1.666E-24
C25	B2B5B12B14	1.000E-32	1.666E-24
C26	B2B6B12B13	4.000E-27	6.666E-19
C27	B2B6B12B14	4.000E-27	6.666E-19
C28	B2B7B12B13	1.000E-34	1.666E-26
C29	B2B7B12B14	1.000E-34	1.666E-26
C30	B2B9B12B13	1.000E-27	1.666E-19
C31	B2B9B12B14	1.000E-27	1.666E-19
	suma de probabilidades (Sp)	6.001E-07	1.000E+02

FALLA DE ORIGEN

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**BLEVE EN EL TANQUE
ESFÉRICO TE-402 T**



NOTA
 EN ESTE SUCCESO INTERMEDIO SE REPITEN LOS
 BASICOS B3, Y LOS NO DESARROLLADOS B5 Y B11

- SIMBOLOGÍA**
- |— SUCCESO TOPE
 - +— SUCCESO INTERMEDIO
 - SUCCESO BÁSICO
 - ◇ SUCCESO NO DESARROLLADO
- PUERTAS LÓGICAS**
- Y EL SUCCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI TODAS LAS ENTRADAS SE PRODUCEN
 - O EL SUCCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI AL MENOS UNA DE LAS ENTRADAS SE PRODUCE

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Química (FQ)
 Campus E. Lab. 212

Análisis de Riesgos
 En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propano

DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS
 PARA EL EVENTO CLAVANTE
 "BLEVE EN EL TANQUE ESFÉRICO TE-402"

No. de Hoja: 5
 Total de Hojas: 5

Tabla 33: Eventos básicos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-18". Ver diagrama 6.

No.	EVENTOS BÁSICOS	PROBABILIDAD
B1	Falla bloqueo cerrado en la línea igualadora de presión	1E-2
B2	Falla del sistema contraincendio	1E-7
B3	Agentes externos (sismos, huracanes, etc.)	1E-5
B4	Falla por desperfectos mecánicos (incorrecta selección, mal soldadura, etc.)	1E-5
B5	Falla de los instrumentos de nivel (indicadores y/o alarmas)	1E-1
B6	Error humano por descuido	4E-2
B7	Falla de la válvula Vickers (no hay salida de producto)	1E-3
B8	Falla el programa de mantenimiento (calibración, recubrimiento anticorrosivo, etc)	1E-5
B9	Bloqueo de PSV cerrado	1E-2
B10	Radiación térmica	1E-7
B11	Falla de decisión (se opera en límite de retiro o con mantenimiento ya programado)	1E-5
B12	Falla el sistema de detección de hidrocarburos	1E-7
B13	Fuente de ignición por error humano (trabajos de corte o soldadura)	1E-3
B14	Falla en conexiones o bridas (mal selladas)	1E-3
B15	Falla por fractura de tuberías	1E-7

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Tabla 34: Conjuntos mínimos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-18".

NO.	CONJUNTOS MÍNIMOS	PROBABILIDAD DEL CONJUNTO MÍNIMO (P)	IMPORTANCIA DEL CONJUNTO MÍNIMO P°100/Sp
C1	BR	1.000E-05	6.743E+01
C2	B1B3	1.000E-07	6.743E-01
C3	B1B4	1.000E-07	6.743E-01
C4	B1B11	1.000E-07	6.743E-01
C5	B3B5	1.000E-06	6.743E+00
C6	B3B6	4.000E-07	2.697E+00
C7	B3B7	1.000E-08	6.743E-02
C8	B3B9	1.000E-07	6.743E-01
C9	B4B5	1.000E-06	6.743E+00
C10	B4B6	4.000E-07	2.697E+00

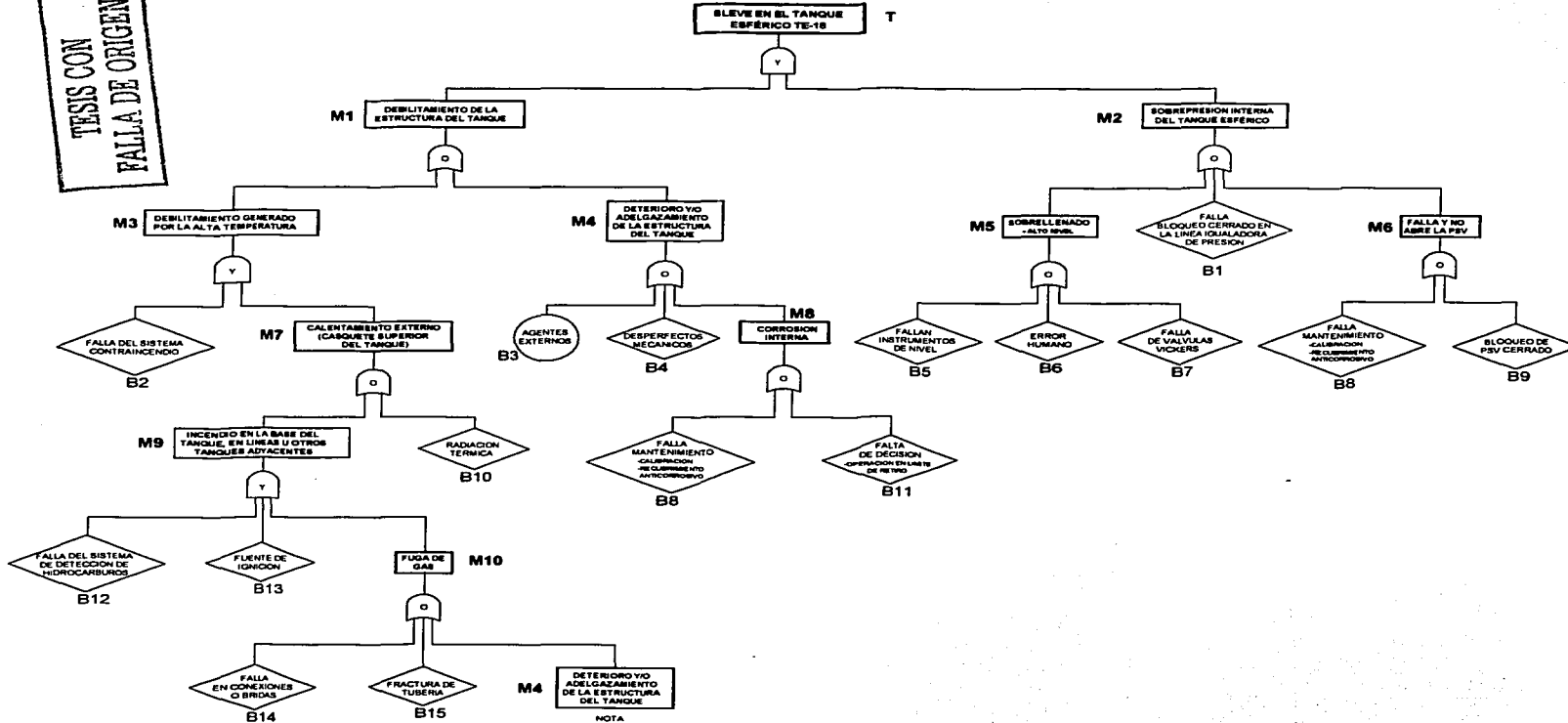
Tabla 34: Conjuntos mínimos para el árbol de fallas "BLEVE en el tanque esférico TE-18" (Continuación).

No.	CONJUNTOS MÍNIMOS	PROBABILIDAD DEL CONJUNTO MÍNIMO (P)	IMPORTANCIA DEL CONJUNTO MÍNIMO P*100/Sp
C11	B4B7	1.000E-08	6.743E-02
C12	B4B9	1.000E-07	6.743E-01
C13	B5B11	1.000E-06	6.743E+00
C14	B6B11	4.000E-07	2.697E+00
C15	B7B11	1.000E-08	6.743E-02
C16	B9B11	1.000E-07	6.743E-01
C17	B1B2B10	1.000E-16	6.743E-10
C18	B2B5B10	1.000E-15	6.743E-09
C19	B2B6B10	4.000E-16	2.697E-09
C20	B2B7B10	1.000E-17	6.743E-11
C21	B2B9B10	1.000E-16	6.743E-10
C22	B1B2B12B13B14	1.000E-22	6.743E-16
C23	B1B2B12B13B15	1.000E-26	6.743E-20
C24	B2B5B12B13B14	1.000E-21	6.743E-15
C25	B2B5B12B13B15	1.000E-25	6.743E-19
C26	B2B6B12B13B14	4.000E-22	2.697E-15
C27	B2B6B12B13B15	4.000E-26	2.697E-19
C28	B2B7B12B13B14	1.000E-23	6.743E-17
C29	B2B7B12B13B15	1.00E-27	6.743E-21
C30	B2B9B12B13B14	1.000E-22	6.743E-16
C31	B2B9B12B13B15	1.000E-26	6.743E-20
	suma de probabilidades (Sp)	1.483E-05	1.000E+02

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Finalmente, se anexa el diagrama 7 y 8, los cuales representan para cada esfera el árbol mínimo obtenido a partir de la reducción de la probabilidad del evento culminante mediante las reglas Booleanas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



NOTA
EN ESTE SUCCESO INTERMEDIO SE REPITEN LOS
BASICOS B3, Y LOS NO DESARROLLADOS B4, B8 Y B11

SIMBOLOGIA

- SUCCESO TOPE
 - SUCCESO INTERMEDIO
 - SUCCESO BASICO
 - ◇ SUCCESO NO DESARROLLADO
- PUERTAS LOGICAS**
- Y EL SUCCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI TODAS LAS ENTRADAS SE PRODUCEN
 - O EL SUCCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI AL MENOS UNA DE LAS ENTRADAS SE PRODUCE

TESIS CON
FALLA DE ORIGIN

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Facultad de Química (FQ)
Carrera 5, Lab. 212

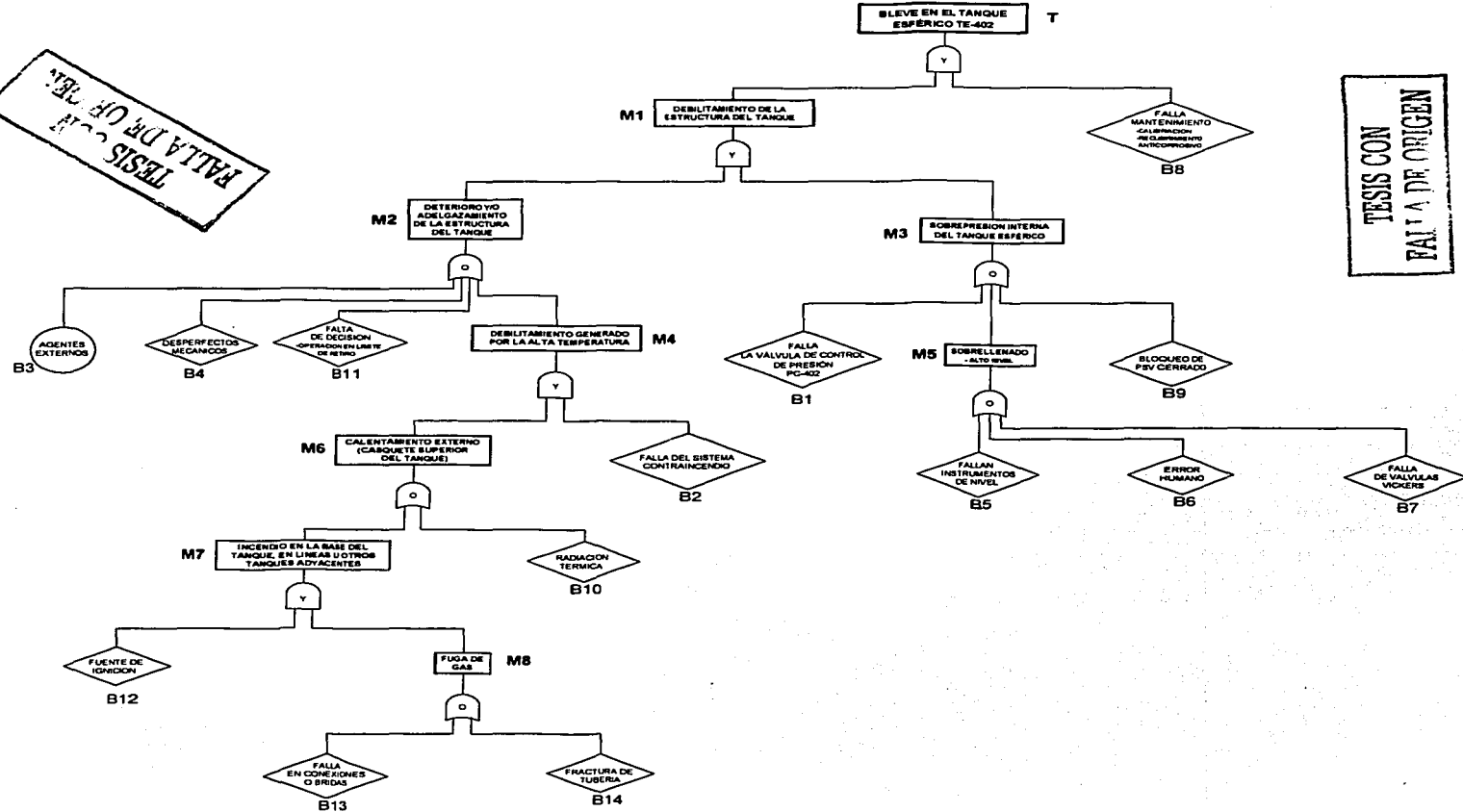
Análisis de Riesgos
En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propano

DIAGRAMA DE APOR DE FALLAS
PARA EL EVENTO CLAVANTE
"SLEVE EN EL TANQUE ESFERICO TE-18"

Fecha de elaboración: 14/05/2011
Número de versión: 5
Escala: 1:100

FALLA EN EL TANQUE
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



SIMBOLOGIA

- ☐ SUCESO TOPE
- ◻ SUCESO INTERMEDIO
- SUCESO BÁSICO
- ◇ SUCESO NO DESARROLLADO

EVERTAS LÓGICAS

- Y EL SUCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI TODAS LAS ENTRADAS SE PRODUCEN
- O EL SUCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI AL MENOS UNA DE LAS ENTRADAS SE PRODUCE

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Química (FQ)
 Circuito 5, Lab. 313

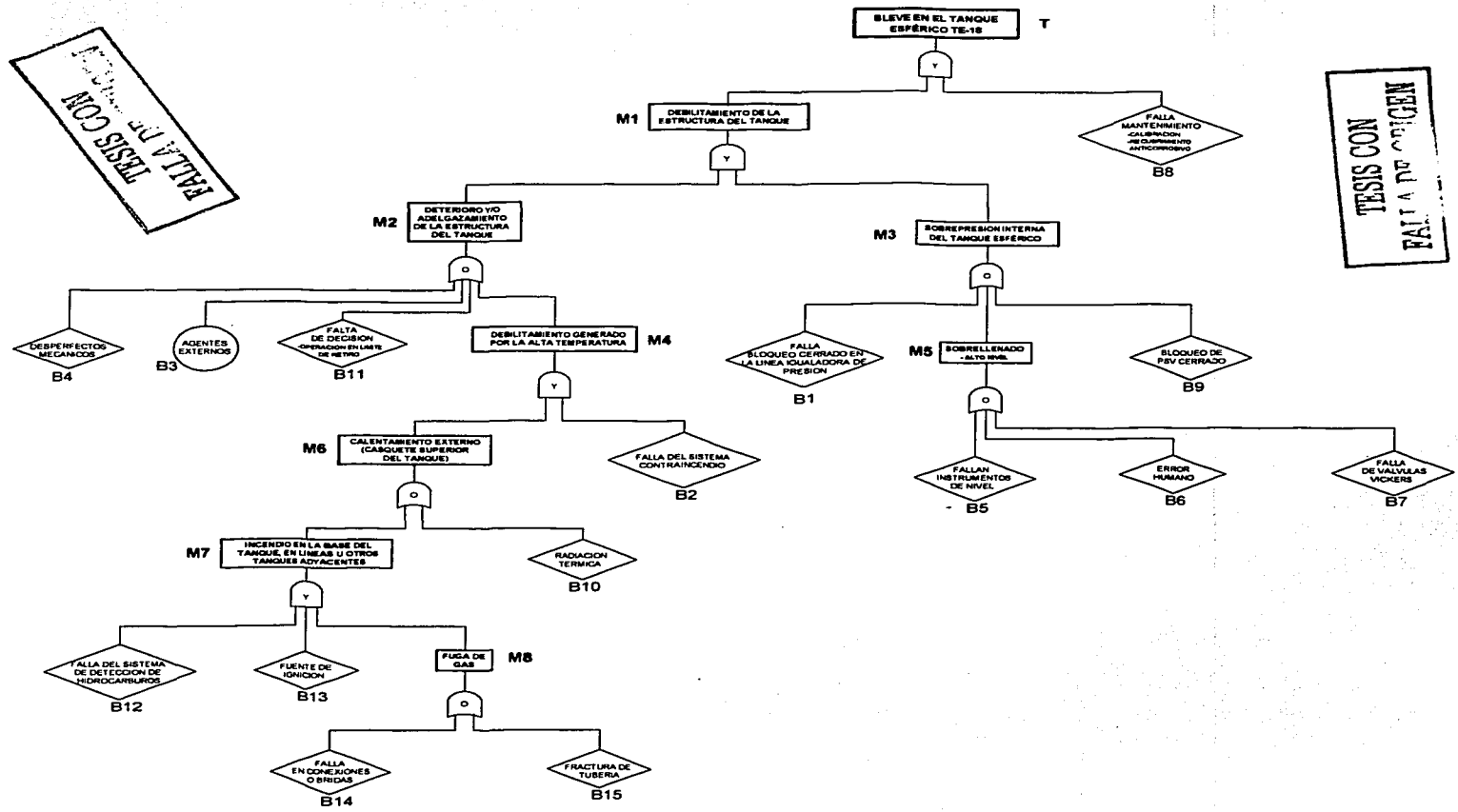
Análisis de Riesgos
 En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propano

DIAGRAMA DE ÁRBOLES DE FALLOS
 REDUCIDO PARA EL EVENTO CLASIFICANTE
 "SLEVE EN EL TANQUE ESFERICO TE-402"

ÁREA DE FALLOS: 7
 NÚMERO DE EVENTOS: 14

TESIS CON
FALTA DE
MOTIVACION

TESIS CON
FALTA DE
CONTENIDO



- SIMBOLOGIA**
- |— SUCESO TOPE
 - +— SUCESO INTERMEDIO
 - SUCESO BASICO
 - ◇ SUCESO NO DESARROLLADO
- PUERTAS LÓGICAS**
- Y EL SUCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI TODAS LAS ENTRADAS SE PRODUCEN
 - O EL SUCESO DE FALLO DE SALIDA OCURRE SI AL MENOS UNA DE LAS ENTRADAS SE PRODUCE

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
Facultad de Ciencias Exactas
Carrera de Ingeniería en Mecánica

Análisis de Riesgo
En Dos Tanques Para Almacenamiento De Propano

DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLOS
#1 DISEÑO PARA EL VENTO CLIMÁTICO
#2 BLEVE EN EL TANQUE ESFERICO TE-18

Elaborado por: []
Revisado por: []
Fecha: []



2.2.4. Resultados.

De acuerdo con los conjuntos mínimos y su importancia, en las tablas 31 y 33 del capítulo, están ligeramente sombreados las combinaciones de conjuntos que tienen un porcentaje o contribución mayor en la probabilidad del evento no deseado, se puede apreciar en cuáles sucesos hay que estar más alertas.

Basándose en esto, se proponen recomendaciones encaminadas a evitar que estos eventos ocurran al mismo tiempo, o de no ser así, permitan corregir la desviación antes de que se produzca la BLEVE.

Así, se observa que para el TE-402 los conjuntos mínimos de eventos más importantes son:

1. B8 o Fallas en el programa de mantenimiento como calibración, recubrimiento anticorrosivo, entre otros.
2. B3B6 o la combinación simultánea de agentes externos como sismos o huracanes y el error humano por descuido.
3. B3B9 o la combinación simultánea de agentes externos y que exista bloqueo de PSV cerrado.

Y, para el TE-18 los conjuntos mínimos de eventos más importantes son:

1. B8 o Fallas en el programa de mantenimiento como calibración, recubrimiento anticorrosivo, entre otros.
2. B3B5 o la combinación simultánea de agentes externos como sismos o huracanes y que exista falla de los instrumentos de nivel (indicadores y/o alarmas).
3. B4B5 o la combinación simultánea de una falla por desperfectos mecánicos como una incorrecta selección o una mala soldadura y que exista falla de los instrumentos de nivel (indicadores y/o alarmas).
4. B5B11 o la combinación simultánea de una falla en los instrumentos de nivel (indicadores y/o alarmas) y que el recipiente opere en su límite de retiro o que se siga operando cuando ya tiene su mantenimiento programado.

También se observa que las combinaciones de más de cuatro elementos poseen un valor bajo de probabilidad, por lo cual, casi no contribuyen en la probabilidad del evento culminante. Estos valores indican que, para realizarse deben ocurrir simultáneamente varias causas. Por ejemplo:

Para el TE-402 serían:

- c. B2B7B12B13 o que exista al mismo tiempo: Falla en el sistema contra incendio, falla de válvula vickers, una fuente de ignición debido a error humano por trabajos de corte o soldadura en el área en cuestión y que exista falla en las conexiones o bridas, ya sea porque estén mal selladas.



- b. B2B7B12B14 o que exista al mismo tiempo: Falla en el sistema contra incendio, falla de válvula vickers, una fuente de ignición debido a error humano por trabajos de corte o soldadura en el área en cuestión y que exista falla por fractura de tuberías.

Para el TE-18 serían por ejemplo:

- c. B2B7B12B13B14 o que exista al mismo tiempo: Falla en el sistema contra incendio, falla de válvula vickers, falla en el sistema de detección de hidrocarburos, una fuente de ignición debido a error humano por trabajos de corte o soldadura en el área en cuestión y que exista falla en las conexiones o bridas, ya sea porque estén mal selladas.
- b. B1B2B12B13B15 o que exista al mismo tiempo: Falla bloqueo cerrado en la línea igualadora de presión, falla en el sistema contra incendio, falla de la válvula vickers, falla en el sistema de detección de hidrocarburos, una fuente de ignición debido a error humano por trabajos de corte o soldadura en el área en cuestión y que exista falla por fractura de tuberías.
- c. B2B9B12B13B15 o que exista al mismo tiempo: Falla en el sistema contra incendio, bloqueo de PSV's , falla en el sistema de detección de hidrocarburos, una fuente de ignición debido a error humano por trabajos de corte o soldadura en el área en cuestión y que exista falla por fractura de tuberías.

La probabilidad para el evento culminante BLEVE EN EL TE-402 es de 6.0001×10^{-7} , indica que no se ha presentado en 10 años por lo que es *aceptable*, y para el suceso BLEVE EN EL TE-18 es de 1.48×10^{-5} , el cuál indica que es poco probable por lo tanto, también se acepta..

3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Las consecuencias principales de una BLEVE, en orden de importancia reducida son: la bola de fuego resultante de la radiación térmica, los fragmentos que se producen cuando el tanque se rompe y la onda de la explosión producida por la expansión del vapor; los cuales se estimaron para las esferas analizadas anteriormente, la TE-402 y la TE-18 a partir de los siguientes modelos.

Previo al cálculo de las principales consecuencias a las que van a estar expuestas las personas e instalaciones en una BLEVE, se deben conocer las condiciones ambientales, de diseño, de operación y las propiedades de la sustancia almacenada para cada sistema. Los datos contemplados en el presente estudio están incluidos en la tabla 35 y la tabla A (apéndice).

Tabla 35: Datos de los sistemas a analizar.

DATOS DEL SISTEMA	MINATITLÁN TE-402	SALINA CRUZ TE-18
Humedad relativa* (% peso)	100	62
Temperatura ambiente promedio* (°C)	27.7	28.2
Diámetro del tanque (m)	16.164	14.6
Capacidad de diseño del tanque (m ³)	2211.29	1629.5
Presión de diseño (Kg/cm ²)	19.3	19.3
Presión de operación (Kg/cm ²)	14	12
Temperatura de diseño (°C)	48.8	48.8
Temperatura de operación (°C)	30	34

* Estos datos se tomaron el día 7 de marzo de 2002 a las 11:00.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1. Procedimiento de Cálculo.

3.1.1. Capacidad de diseño del tanque.

El volumen del tanque se obtiene como el volumen para una esfera

$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

Entonces:

$$V = \frac{4}{3} * \pi * \left(\frac{16.164m}{2} \right)^3 = 2211.29 m^3$$

3.1.2. Masa total de combustible en el recipiente.

Suponiendo que la esfera este llena al 90% de su capacidad, el líquido contenido será:

$$V_{LÍQUIDA} = 2211.29m^3 * 0.90 = 1990.161 m^3$$

La masa total del combustible se calcula a partir de la densidad ($\delta = kg/m^3$) y el volumen del líquido contenido en el recipiente (m^3):

$$W = V_{LÍQUIDA} * \delta$$

Así:

$$W = 1990.161m^3 * 510 kg/m^3 = 1014982.11 kg$$

Antes de calcular la radiación térmica de la bola de fuego formada por la combustión de la masa vaporizada se estima el diámetro, la altura y la duración máxima de la deflagración.

3.1.3. Diámetro de la bola de fuego.

El diámetro de la bola de fuego se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$D = 6.48 * W^{0.325} [T.N.O.]$$

siendo:

W : masa total del combustible (kg).

D : diámetro máximo (m).

De esta forma:

$$D = 6.48 * 1014982.11^{0.325} = 580.329 m$$

3.1.4. Altura de la bola de fuego.

La altura de la bola de fuego se determina con la siguiente ecuación:

$$H = 0.75 * D$$

Donde:

H : altura del centro de la bola (m).

D : diámetro máximo (m).

Por lo tanto:

$$H = 0.75 * 580.329 = 435.247 m$$

3.1.5. Duración de la bola de fuego.

La duración de la bola de fuego se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$t = 0.825 * W^{0.26} [T.N.O.]$$

siendo: t : tiempo de duración (s).

W : masa total del combustible (kg).

Entonces: $t = 0.852 * 1014982.11^{0.26} = 31.054 \text{ s}$

La experiencia ha demostrado que las bolas de fuego originadas en esferas con gran capacidad pueden llegar a durar hasta tres minutos.

3.1.6. Radiación térmica recibida

Para estimar la energía total radiada (Q_R) desde la esfera de fuego se puede emplear:

$$Q_R = 0.27 * m * (-\Delta H_{c,l,m}) * P_n^{0.32}$$

donde:

(Q_R) : es la energía total radiada (J)

m : es la masa inicial del líquido inflamable (Kg)

P_n : es la presión inicial a la que está almacenado el líquido (Mpa)

Así: $Q = 0.27 * 1014982.11 * 45747 * 1.37^{0.32} = 13865494.16 \text{ KJ}$

A continuación, para determinar la radiación térmica recibida en un punto con respecto a una distancia propuesta se emplea la siguiente ecuación genérica:

$$I = d * F * E$$

siendo:

I : irradiación recibida (kW/m²).

d : coeficiente de transmisión atmosférica.

F : Factor geométrico de visión.

E : Intensidad media de radiación (kW/m²).

Como el coeficiente de transmisión atmosférica es función de la humedad relativa del aire y de la distancia al punto en cuestión, éste se obtiene con la siguiente relación y la figura 13:

$$d = 2.02 * (P_i * x)^{-0.09}$$

siendo:

P_i : presión parcial absoluta del vapor en el aire ambiental (Pa) (1 bar = 10⁵ Pa).

x : distancia entre la envolvente de la bola de fuego y el punto considerado (m) [Fig.4].

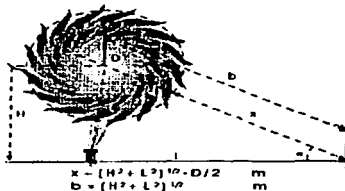


Fig. 13: Cálculo de las distancias b y x.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para calcular la presión parcial absoluta del vapor de agua P_i , se usa la siguiente relación:

$$P_i / P_v = h_{rel}$$

siendo:

h_{rel} : humedad relativa

P_v : Presión absoluta del vapor de agua saturado

P_i : Presión parcial absoluta del vapor de agua en un ambiente con humedad relativa y %

De esta forma, si la humedad relativa es del 100% y la presión absoluta del vapor de agua saturado a 27.7° C corresponde a 3737 Pa (Ref. 7) la presión parcial absoluta será:

$$P_i / P_v(27.7^\circ C) = 1.0; \quad \text{por lo tanto, al despejar} \quad P_i = 1.0 * 3737 = 3737 \text{ Pa}$$

así, el coeficiente de transmisión atmosférica esta dado por.

$$d = 2.02 * (3737 * x)^{-0.09}$$

Y, suponiendo una distancia de afectación de L = 20 m, la distancia (m) entre la envolvente de la bola de fuego y el punto considerado será :

$$x = \sqrt{(435.247^2 + 20^2)} - (580.329/2) = 145.541 \text{ m}$$

Por lo tanto, el coeficiente de transmisión atmosférica es:

$$d = 2.02 * (3737 * 145.541)^{-0.09} = 0.615$$

El factor geométrico F es un coeficiente que depende, tanto, de la forma del foco emisor y receptor, como de la distancia. En el caso de BLEVE's, al suponer la bola de fuego como una esfera y el cuerpo receptor una superficie normal a la radiación directa en la línea procedente del centro de la esfera, se demuestra que el factor geométrico tiene el valor:

$$F = D^2 / 4 * b^2$$

siendo:

D : diámetro máximo de bola de fuego (m).

b : distancia entre el centro de la esfera y el cuerpo irradiado (m).

$$b = \sqrt{435.247^2 + 20^2} = 435.706 \text{ m}$$

$$F = \frac{580.329^2}{4 * (435.706)^2} = 0.444$$

La intensidad media de radiación E es el flujo radiante por unidad de superficie y tiempo, y se calcula según la siguiente expresión:

$$E = f_r * W * H_c / \pi * t * D^2$$

siendo

f_r = un coeficiente de radiación que puede oscilar entre 0,25 y 0,40.

W = masa total del combustible (kg).

H_c = calor de combustión (kJ/kg).

D = diámetro máximo de la bola de fuego (m).

t = tiempo de duración de la BLEVE (s).

El coeficiente f_r indica la fracción de la energía total desarrollada en la combustión, ya que esta energía se ve reducida por las pérdidas, fundamentalmente en la convección de humos.

Se adopta $f_r = 0,25$

$$E = \frac{0.25 * (1014982.11) * (45747)}{3.1416 * (31.054) * (580.329)^2} = 353.30 \text{ kW/m}^2$$

Así la radiación térmica recibida en un punto determinado es (sobre hipotética superficie perpendicular a la radiación):

$$I = d * F * E$$

$$I = 0.615 * 0.444 * 353.30 = 96.42 \text{ kW/m}^2$$

3.1.7. Dosis de radiación térmica para personas expuestas.

Una vez calculada la irradiación térmica, hay que proceder al cálculo de la dosis de radiación térmica para personas expuestas. Una de las fórmulas más empleadas es la de Eisenberg:

$$Dosis = t * I^{2/3}$$

en la que

t = tiempo de exposición (s).

I = irradiación recibida (W/m^2).

Suponiendo que el tiempo de exposición es el de duración de la bola de fuego.

$$Dosis = 31.054 * (96420)^{2/3} = 137301005.65 \text{ W/m}^2$$

El paso siguiente consiste en la estimación de la vulnerabilidad de personas e instalaciones ante los efectos físicos de una magnitud determinada, donde las aproximaciones de la relación de la dosis con el efecto considerado son generalmente de tipo probabilístico, pues los daños recibidos dependen de múltiples factores, como son: intensidad de la dosis, tiempo de exposición, sensibilidad, etc. Para este caso se utiliza (Ref. 12) el método Probit (correspondiente a la abreviatura en inglés de "Probability unit") que proporciona relaciones sencillas para predecir los efectos adversos de distintas variables mediante una escala de porcentaje de daños en función de valores probabilísticos llamados unidades Probit (ver figura 1 apéndice C).

Para determinar las consecuencias por causa de la radiación se uso:

a) Para daños en la población por quemaduras de primer grado.

$$Y = -39.83 + 3.0186 \ln(I^{1/3} t)$$

donde:

I : Irradiación recibida (W/m^2)

$$Y = -39.83 + 3.0186 * \ln[(96420^{1/3}) * 31.054] = 16.73$$

b) Para mortalidad de las personas expuestas.

$$Y = -14.9 + 2.56 \ln(10^{-4} I^{1/2})$$

donde:

$$I : \text{Irradiación recibida (W/m}^2\text{)}$$

$$Y = -14.9 + 2.56 * \ln[31.054 * (96420^{1/3}) / 10^4] = 9.49$$

Así, usando la figura 1 del apéndice C, escala Probit y los valores obtenidos de Y, se obtiene :

- El 100% de la totalidad de personas expuestas que sufrirían quemaduras de 1° grado.
- Habría un 100% de mortalidad por quemaduras de 1° grado.

3.1.8. Efectos de la Presión.

La sobrepresión a una distancia dada puede calcularse con el método del equivalente en TNT, así para aproximar el equivalente en TNT de una BLEVE se estima: a) la cantidad de líquido que sufriría una evaporación súbita al reducir la presión hasta la atmosférica, b) calcular el volumen suplementario de vapor (a la presión del recipiente antes de la explosión) que implicaría esta cantidad de líquido evaporado y añadir este volumen ficticio al existente, a la presión del sistema y c) calcular el equivalente en TNT; así:

La masa equivalente en TNT se obtiene como.

$$W_{TNT} = \frac{0.024(PV^*)}{(y-1) \left[1 - \left(\frac{1}{P} \right)^{\frac{r-1}{r}} \right]}$$

donde

$$V^* = V_v - V_l \left(\frac{\rho_{Ll}}{\rho_{Lv}} \right)$$

siendo

V_l y V_v los volúmenes reales de vapor y líquido en el recipiente antes de la explosión (m³)

ρ_{Ll} y ρ_{Lv} las densidades del líquido y del vapor a la presión y temperatura del sistema antes de la explosión (Kg/m³)

f = es la fracción del líquido que sufre la evaporación súbita tras la depresurización y se calcula como = $f = m_v / m_o$

$$m_v = m_o \left[1 - e^{-\frac{C_p(T_o - T_{eb})}{\Delta H_{vap}}} \right]$$

con

m_v = masa vaporizada (Kg)

m_o = masa inicial del líquido (kg)

C_p = calor específico (KJ/KgK)

T_o = temperatura inicial (K)

T_{eb} = T_{eb} = temperatura de ebullición (K)

ΔH_{vap} = calor de vaporización promedio entre T_o y T_{eb} (KJ/Kg)

$$m_v = 1014982.11 \left[1 - e^{-\frac{1.82(303.15-225)}{437.73}} \right] = 241228.491 \text{ Kg}$$

$$f = \frac{241228.49}{1014982.11} = 0.238 \text{ (adimensional)}$$

$$V = 221.129 - 1990.161 \left(\frac{0.238 * 510}{230} \right) = 1269.949 \text{ m}^3$$

así la masa equivalente es:

$$W_{NEV} = \frac{0.024(13.72 * 1269.949)}{(1.3 - 1) \left[1 - \left(\frac{1}{13.72} \right)^{\frac{1.3-1}{1.3}} \right]} = 632.231 \text{ Kg TNT}$$

3.1.9. Número de fragmentos y alcance máximo.

Basado en un análisis de pequeños accidentes, la correlación aproximada del número de fragmentos resultantes en la explosión, para capacidades comprendidas entre 700 y 2500 m³ es:

$$\text{No. de fragmentos} = -3.77 + 0.0096V$$

Donde

V = es la capacidad del recipiente (m ³)

$$\text{No. de fragmentos} = -3.77 + 0.0096 * (1990.16) = 15.33$$

El alcance máximo de los proyectiles se estima, por lo general, a partir de correlaciones empíricas de datos obtenidos en explosiones con TNT. La figura 2 del apéndice C, muestra la correlación empleada.

$$632.231 \text{ Kg} = 1392.579 \text{ lb}$$

$$\text{Alcance máximo} = 4200 \text{ ft} = 1280.16 \text{ m}$$

3.1.10. Distancia virtual y reducida.

Debido a que el gas no se expande libremente, sino que está contenido en un recipiente que colapsa; para tener en cuenta la influencia del recipiente se calcula una distancia virtual al centro de la explosión, lo que requiere una estimación previa de la presión sobre la superficie del recipiente, P_N .

Para obtener la presión sobre la superficie del recipiente se emplea la siguiente ecuación:

$$P_N = P_N \left[1 - \frac{3.5(\gamma - 1)(P_N - 1)}{\left(\frac{\gamma T}{M} (1 + 5.9 P_N) \right)^{0.5}} \right]^{-\frac{2\gamma}{\gamma - 1}}$$

P_N = presión a la que se produce el estallido (Bar absolutos)

P_N = presión estimada en la superficie del recipiente (Bar absolutos)

γ = cociente de capacidades caloríficas

T = temperatura absoluta del gas (K)

M = peso molecular del gas

la cual, debe resolverse iterativamente, ya que es implícita para el valor P_N .

$$Pb = 14.742 = P_N \left\{ \left[\frac{3.5 * (1.3 - 1) * (P_N - 1)}{\left(\frac{1.3 * (303.15)}{42} \right) * (1 + 5.9 * P_N)} \right]^{0.5} \right\}^{-\frac{2 * (1.3)}{1.3 - 1}}$$

Para calcular P_N se le dan valores hasta que el valor de P_H sea igual o aproximado a 14.742 bar - presión de diseño manométrica del tanque a la cual se supuso la falla catastrófica (14 Kg / cm²) más la presión atmosférica del lugar, así

P_N (bar) supuesto	P_H (bar) obtenido
5	59.306
3.2	15.942
3.1	14.625
3.105	14.689
	14.742
3.11	14.753

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Una vez conocida la presión de la superficie en el recipiente, se utiliza la figura 3 del apéndice D, y con la ecuación para calcular la distancia reducida se determina la distancia a la que se produciría la sobrepresión P_N . La ecuación para la distancia reducida es:

$$z = \frac{R}{(W_{INT})^{1/3}}$$

Donde

z : distancia reducida (m/ Kg^{1/3})

R : distancia a la que se produciría la sobrepresión (m)

con el valor de $P_N = 3.109 \text{ bar} = 310.9 \text{ KPa}$, el valor de distancia reducida es $z = 1.5$, y por lo tanto la distancia a la que se producirá esta sobrepresión es:

$$R = z * (W_{INT})^{1/3} = 1.7 * 632.231^{1/3} = 14.59 \text{ m}$$

La distancia virtual antes aludida se calcula sustrayendo el radio real del recipiente que es conocido, de la distancia R calculada, y el valor obtenido se sumara a la distancia a la que se desea estimar la sobrepresión, permitiendo de esta forma, corregir las distancias en las estimaciones de efectos de presión.

El radio de la esfera es 8.08 m; así que la distancia virtual sera:

$$\text{Distancia virtual} = 14.59 - 8.08 = 6.51 \text{ m}$$

Por lo tanto la distancia corregida para los efectos de presión será:

$$\text{Distancia corregida} = 20 + 6.51 = 26.51 \text{ m}$$

Con esta nueva distancia se calcula la distancia reducida correspondiente para conocer así el verdadero valor de la sobrepresión, por lo tanto:

$$z = \frac{26.51}{632.231^{1/3}} = 3.088$$

y de la figura 3 del apéndice se obtiene una sobrepresión de 90 KPa.

Finalmente, para determinar los efectos directos de una explosión, se usan las siguientes ecuaciones:

• Para mortalidad por hemorragia pulmonar $Y = -77.1 + 6.91 \ln P^{\circ}$

Sustituyendo

$$Y = -77.1 + 6.9 \ln(90000) = 1.6121$$

• Para mortalidad por ruptura del tímpano $Y = -15.6 + 1.93 \ln P^{\circ}$

Sustituyendo

$$Y = -15.6 + 1.93 \ln(90000) = 6.41$$

en ambas relaciones P° es la sobrepresión (Pa)

Con el uso de la figura 1 del apéndice C, escala Probit y los valores obtenidos de Y, se obtiene:

- No habrá pérdidas humanas por hemorragia pulmonar.
- EL 92 % la población expuesta perecerá por ruptura de tímpano.

Para observar la variación de la sobrepresión y la radiación térmica recibida en un punto con respecto a la distancia, es necesario primero realizar la siguiente secuencia de cálculos para una distancia propuesta y al terminar está volver a repetir dicha secuencia para otra distancia, y así sucesivamente, considerando varias distancias, hasta obtener un perfil.

Una vez obtenido el perfil (para las presiones de afectación y radiación térmica recibida) se consultan las tablas 36 y 37 para estimar los daños provocados por dicha sobrepresión.

Tabla 36: Daños producidos por las explosiones en función de la sobrepresión (Ref. 12).

Sobrepresión PSI (KPa)	Tipo De Daño.
0.03 (0.206)	Ruptura ocasional de cristales grandes sometidos a tensiones
0.04 (0.275)	Ruido fuerte. Ruptura de cristales por la onda sonora.
0.1 (0.689)	Ruptura de cristales pequeños sometidos a tensión.
0.3 (2.068)	Límite de proyectiles. 95% de probabilidad de no sufrir daños importantes. Daños menores a techos de casas. Ruptura del 10% de los cristales.
0.5 — 1.0 (3.447 — 6.894)	Destrucción de ventanas con daños a los marcos.
0.7 (4.826)	Daños estructurales menores en las casas.
1.0 (6.894)	Demolición parcial de casas, que quedan inhabitables.
1.0 — 2.0 (6.894 — 13.789)	Fallo de paneles y mamparas de madera, aluminio, etc.
2.0 (13.789)	Colapso parcial de paredes y techos de casas.
2.0 — 3.0 (13.789 — 20.684)	Destrucción de paredes de cemento de dos a treinta centímetros de grosor.
2.4 (16.547)	Umbral 1% de ruptura de tímpano.
2.5 (17.236)	Destrucción del 50% de la obra de ladrillo en edificaciones. Distorsiones en estructuras de acero
3.0 — 4.0 (20.684 — 27.579)	Ruptura de tanques de almacenamiento.
5.0 — 7.0 (34.473 — 48.263)	Destrucción prácticamente completa de casas.
7.0 (48.263)	Vuelcan vagones de tren cargados.
7.0 — 8.0 (48.263 — 55.158)	Ruptura de paredes de ladrillo de 20 a 30 cm de grosor.
10.0 (68.947)	Probable destrucción total de edificios. Máquinas pesadas (3500 Kg) desplazadas y fuertemente dañadas.
12.2 (84.116)	90% de probabilidad de ruptura de tímpano.
14.5 (99.973)	Umbral del 1% de muerte por hemorragia pulmonar.
25.5 (175.816)	90% de probabilidad de muerte por hemorragia pulmonar.
280 (1434.109)	Formación de cráter.

Tabla 37: Máxima radiación tolerable de materiales (Ref. 12).

Material	Radiación máxima tolerable (KW/m ²)
Cemento	50
Hormigón armado	200
ACBR	40
Madera	10
Vidrio	30 — 300
Pared de ladrillo	400

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2. Resultados.

Los resultados obtenidos se calcularon a partir de la suposición de que ambos tanques esféricos se encuentran primero con capacidades del 90 y 70 % en volumen a temperatura y presión de operación; y después a las condiciones de diseño del recipiente. La siguiente tabla engloba todos los resultados que dependen directamente de la cantidad de materia.

Tabla 38: Resultados que están en función de la masa contenida en el recipiente.

	Minatitlán		Salina Cruz	
Capacidad de líquido en tanque (V%)	90	70	90	70
Diámetro de la bola de fuego (m)	580.329	534.813	525.511	484.295
Altura de la bola de fuego (m)	435.246	401.110	394.133	363.221
Duración de la bola de fuego (s)	31.054	29.090	28.684	26.870
Energía total radiada (J)	13865494.16	10784273.24	9730245.022	7567968.351
No. de fragmentos	15.336	11.090	10.309	7.180

Para obtener el máximo alcance horizontal que tendrán los fragmentos originados por la BLEVE [Tablas 39 y 40], se uso el valor de la masa equivalente en TNT, calculado a diferentes condiciones de temperatura y presión, y la figura 2 del apéndice C.

Tabla 39: Máximo alcance horizontal de los proyectiles generados por la BLEVE en el TE-402.

Temperatura ambiente T = 30.0 °C	P = 14 Kg / cm ²			P = 19.3 Kg / cm ²		
	Capacidad del Tanque	Equivalente de TNT (Kg)	Distancia (m)	Capacidad del Tanque	Equivalente de TNT (Kg)	Distancia (m)
	70%	736	1341	70%	1102	1524
90%	632	1311	90%	946	1493	
Temperatura de diseño T = 48.8 °C	Capacidad del Tanque	Equivalente de TNT (Kg)	Distancia (m)	Capacidad del Tanque	Equivalente de TNT (Kg)	Distancia (m)
	70%	818	1433	70%	1225	1676
	90%	738	1311	90%	1104	1524

TESTES CON
 FALLA DE ORIGEN

Tabla 40: Máximo alcance horizontal de los proyectiles generados por la BLEVE en el TE-18.

	P = 12 Kg / cm ²			P = 19.3 Kg / cm ²		
	Capacidad del Tanque	Equivalente de TNT (Kg)	Distancia (m)	Capacidad del Tanque	Equivalente de TNT (Kg)	Distancia (m)
Temperatura ambiente T = 34.0 °C	70%	455	1250	70%	832	1433
	90%	395	1189	90%	722	1311
Temperatura de diseño T = 48.8 °C	70%	494	1280	70%	903	1463
	90%	445	1219	90%	814	1372

A continuación se presentan los resultados del alcance de la radiación y la sobrepresión generadas por la BLEVE en el tanque TE-402, en las figuras 14 a 16; y en las figuras 17 a 19 para la TE-18, bajo las mismas condiciones que se muestran en la tabla 39 y 40, respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIG. 14. ALCANCES RADIACION TERMICA, TE-402.

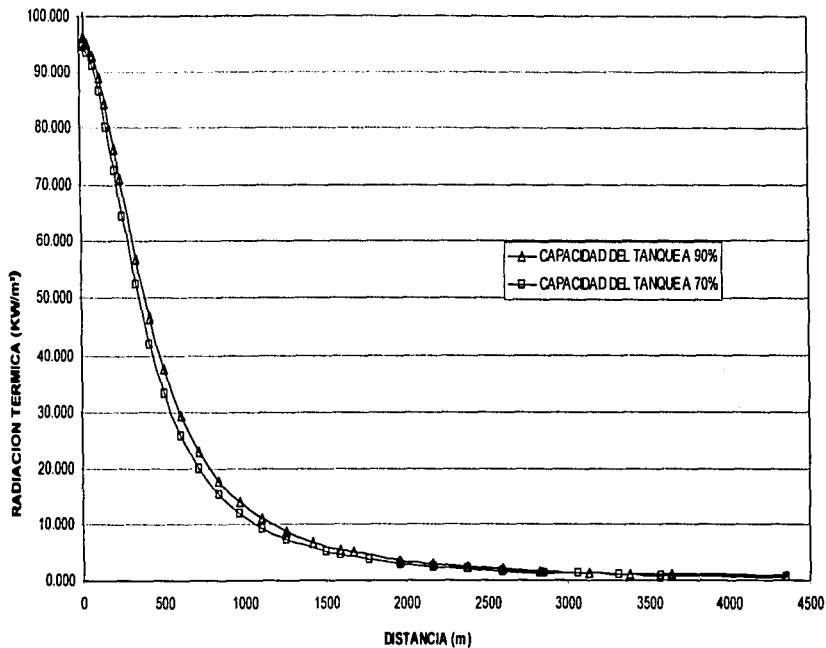
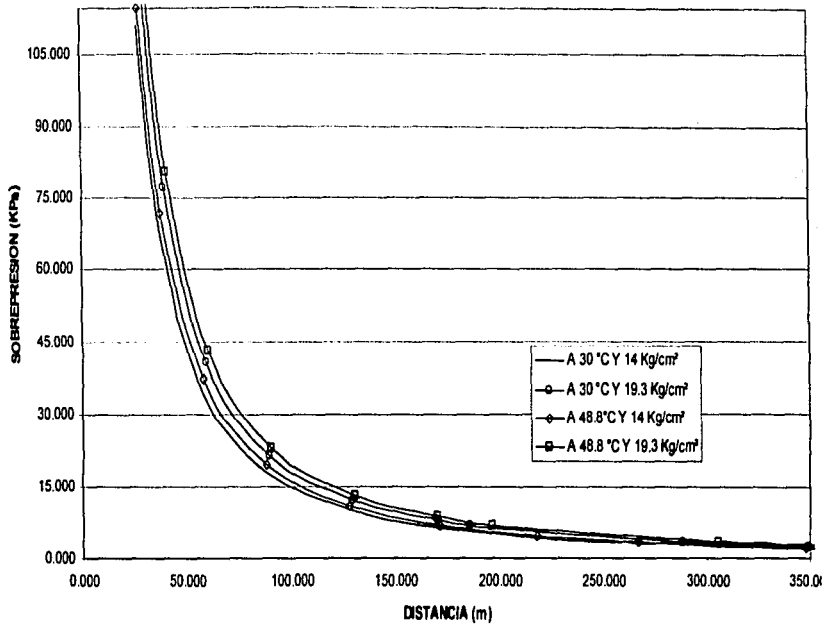
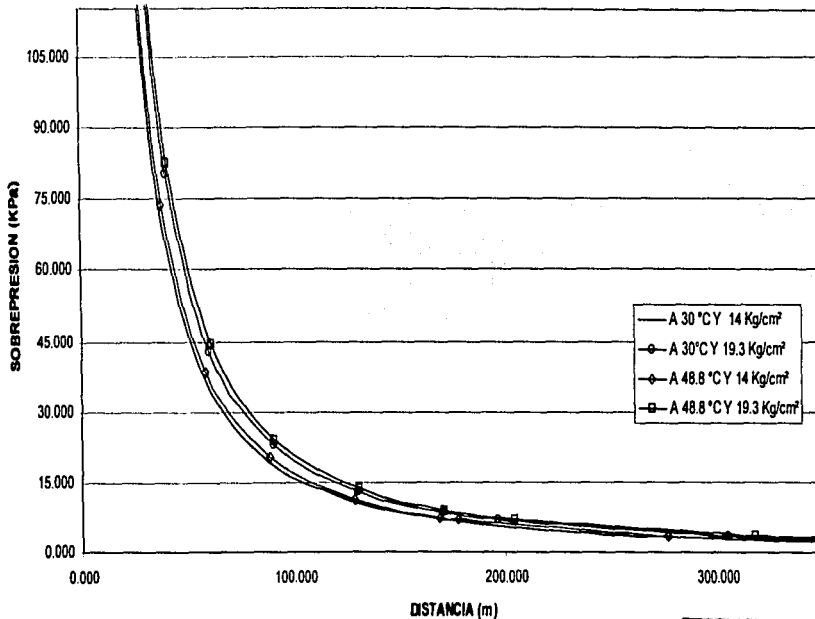


FIG. 15. ALCANCE VS SOBREPRESION PARA TE-402 CON CAPACIDAD AL 90%



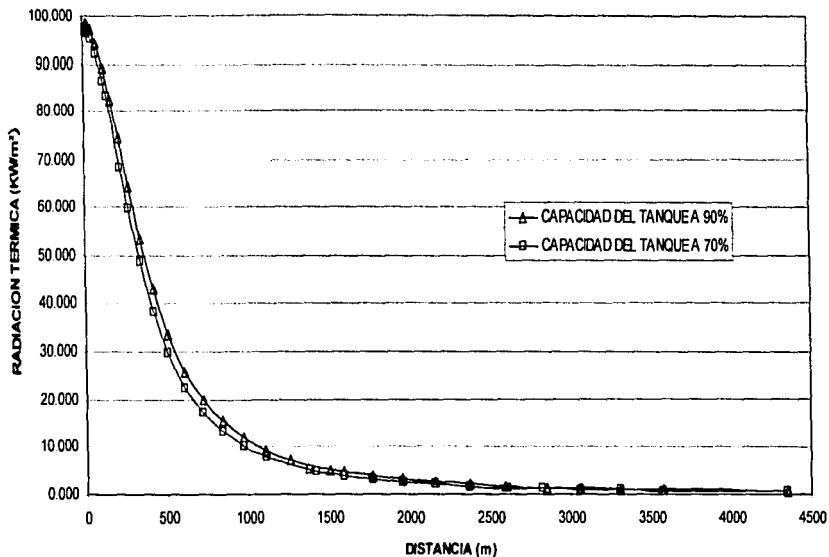
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIG. 16. ALCANCEVS SOBREPRESION PARA TE-402 CON CAPACIDAD AL 70%



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIG. 17. ALCANCE VS RADIACION TERMICA, TE-18



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FIG.18. ALCANCE VS SOBREPRESIÓN PARA TE-18 CON CAPACIDAD AL 90%

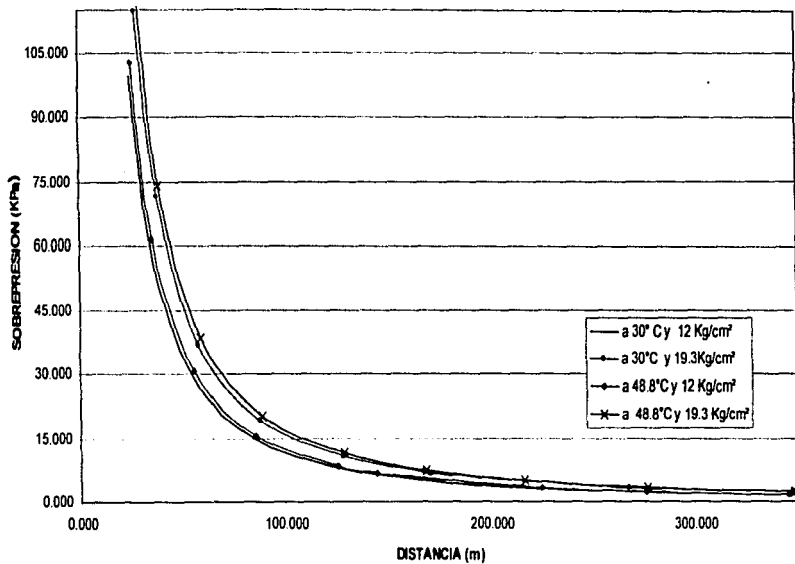
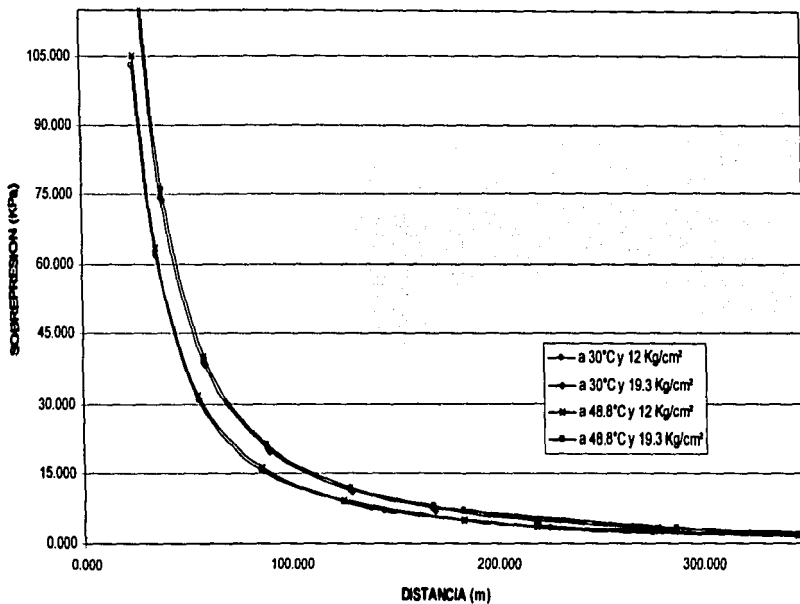


FIG. 19 ALCANCE VS SOBREPRESION PARA TE-18 CON CAPACIDAD AL 70%



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De los resultados anteriores, se eligen los que señalen una mayor catástrofe; es decir, aquellos en los que se obtenga un mayor índice de radiación y sobrepresión para una misma distancia, con la finalidad de determinar los daños a las personas y definir las zonas de alto riesgo y seguridad. De esta manera, para Minatitlán las condiciones en las que habrá una mayor catástrofe por radiación [Tabla 41 y 42] y sobrepresión son: 70% de capacidad, temperatura de 48.8°C y presión de 19.3 Kg/cm².

Tabla 41: Daños a las personas por el efecto de la radiación de una BLEVE en el TE-402.

Distancia propuesta (m)	Radiación Recibida (KW/m ²)	Dosis de radiación (KW/m ²)	Unidades Probit Quemadura de 1er grado	% Quemadura 1er grado	Unidades Probit Mortalidad	% de Mortalidad
20	94.926	12596.7	16.47	100.00	9.27	100.00
30	94.593	12537.8	16.46	100.00	9.26	100.00
50	93.544	12352.7	16.41	100.00	9.22	100.00
120	86.408	11112.6	16.09	100.00	8.95	100.00
193	75.343	9256.9	15.54	100.00	8.48	100.00
307	59.999	6381.2	14.42	100.00	7.53	99.4
610	25.698	2206.0	11.21	100.00	4.81	42.50
720	19.830	1561.4	10.17	100.00	3.92	14.00
1110	9.249	564.8	7.1	98.00	1.32	0.00
1260	7.273	409.9	6.13	87.00	0.50	0.00
1528	5.0	248.5	4.62	35.00	-0.78	0.00
1960	3.039	128.0	2.62	1.00	-2.48	0.00
2370	2.066	76.5	1.07	0.00	-3.80	0.00
2590	1.72	60.1	0.33	0.00	-4.42	0.00
2865	1.4	45.6	-0.60	0.00	-5.12	0.00
4350	0.590	14.4	-3.98	0.00	-8.07	0.00

Tabla 42: Daños a las personas por sobrepresión de una BLEVE en el TE-402.

Distancia propuesta	Distancia corregida (m)	Sobrepresión (Kpa)	Probit	% de hemorragia	Probit	% Ruptura timpánico
20	31.07	127.99	4.16	18.00	7.10	98.50
30	41.07	82.87	1.16	0.00	6.26	88.00
50	61.07	44.66	-3.12	0.00	5.06	50.00
160	171.07	8.97	-14.20	0.00	1.97	0.00
193	204.07	6.81	-16.10	0.00	1.34	0.00
307	318.07	3.41	-20.81	0.00	0.12	0.00
610	621.07	1.20	-28.09	0.00	-1.91	0.00
720	731.07	0.93	-29.84	0.00	-2.40	0.00
1110	1121.07	0.48	-34.44	0.00	-3.69	0.00
1260	1271.07	0.39	-35.80	0.00	-4.06	0.00
1528	1539.07	0.27	-37.85	0.00	-4.59	0.00
1960	1971.07	0.19	-40.51	0.00	-5.38	0.00
2370	2381.07	0.14	-42.55	0.00	-5.95	0.00
2590	2601.07	0.12	-43.50	0.00	-6.22	0.00
2865	2876.07	0.11	-44.58	0.00	-6.50	0.00
4350	4361.07	0.05	-49.07	0.00	-7.77	0.00

Del mismo modo, para Salina Cruz las condiciones en las que puede existir una mayor catástrofe por radiación [Tabla 43] y sobrepresión [Tabla 44] son: 70% de capacidad, temperatura igual a 48.8°C y presión igual a 19.3 Kg / cm².

Tabla 43: Daños a las personas por el efecto de la radiación de una BLEVE en el TE-18.

Distancia propuesta	Ireal rad. Recibida (W/m ²)	Dosis de radiación (KW/m ²)	Unidades Probit Quemadura de 1er grado	% Quemadura 1er grado	Unidades Probit Mortalidad	% de Mortalidad
20	96.976	119716.457	16.32	100.00	9.14	100.00
30	96.562	119035.543	16.30	100.00	9.12	100.00
50	95.260	116901.216	16.25	100.00	9.08	100.00
160	79.715	92184.810	15.53	100.00	8.47	100.00
175	76.975	87983.912	15.39	100.00	8.35	100.00
278	58.266	60695.814	14.27	100.00	7.40	99.20
610	22.553	17121.816	10.45	100.00	4.16	20.00

Tabla 43: Daños a las personas por el efecto de la radiación de una BLEVE en el TE-18 (continuación).

Distancia propuesta	Ireal rad. Recibida (W/m ²)	Dosis de radiación (KW/m ²)	Unidades Probit Quemadura de 1er grado	% Quemadura 1er grado	Unidades Probit Mortalidad	% de Mortalidad
720	17.187	11918.121	9.35	100.00	3.23	4.00
1110	7.837	4182.988	6.19	88.00	0.55	0.00
1398	5.004	2300.313	4.39	27.00	-0.98	0.00
1590	3.874	1635.308	3.36	5	-1.85	0.00
1960	2.540	931.384	1.66	0.00	-3.29	0.00
2370	1.723	555.179	0.10	0.00	-4.62	0.00
2620	1.402	421.744	-0.73	0.00	-5.32	0.00
2820	1.204	344.524	-1.34	0.00	-5.84	0.00
4350	0.490	103.931	-4.96	0.00	-8.91	0.00

Tabla 44: Daños a las personas por sobrepresión de una BLEVE en el TE-18.

Distancia propuesta	Distancia corregida (m)	Sobrepresión (Kpa)	Probit	% de hemorragia	Probit	% Ruptura timpano
20	29.21	120.21	3.72	10.00	6.98	98.00
30	39.21	75.99	0.65	0.00	6.09	86.00
50	59.21	39.99	-3.87	0.00	4.85	44.00
160	169.21	7.79	-15.18	0.00	1.69	0.00
175	184.21	6.82	-16.09	0.00	1.44	0.00
278	287.21	3.41	-20.87	0.00	0.10	0.00
610	619.21	1.03	-29.14	0.00	-2.21	0.00
720	729.21	0.80	-30.90	0.00	-2.70	0.00
1110	1119.21	0.41	-35.52	0.00	-3.99	0.00
1398	1407.21	0.29	-37.98	0.00	-4.68	0.00
1590	1599.21	0.28	-39.36	0.00	-5.06	0.00
1960	1969.21	0.17	-41.60	0.00	-5.69	0.00
2370	2379.21	0.12	-43.64	0.00	-6.25	0.00
2620	2629.21	0.10	-44.71	0.00	-6.55	0.00
2820	2829.21	0.09	-45.50	0.00	-6.78	0.00
4350	4359.21	0.04	-50.15	0.00	-8.08	0.00

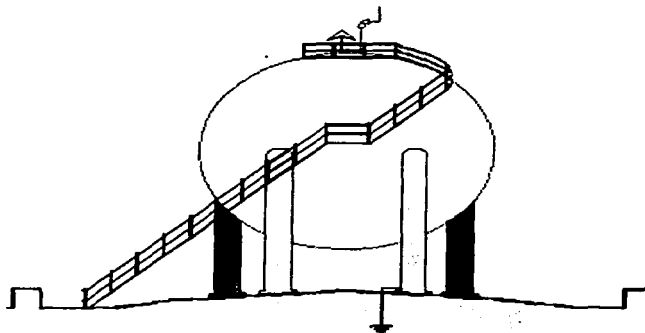
En estas tablas se han resaltado las distancias mínimas para establecer las zonas de seguridad, tanto para sobrepresión, como para radiación de acuerdo con lo solicitado por el I.N.E. [Tabla 12, capítulo II].

Entonces, la zona de alto riesgo con una radiación de $5 \text{ KW} / \text{m}^2$ para Minatitlán comprende una distancia de 1,528 m provocando quemaduras de primer grado a un 35% de la población, y para Salina Cruz, es de 1398 m, con un 27%; en ambos casos no se causan pérdidas humanas. La zona de amortiguamiento o de seguridad (radiación de $1.4 \text{ KW} / \text{m}^2$) donde ya no se dañan a las personas, corresponde a distancias de 2865 m y 2620 m respectivamente.

En cuanto a las sobrepresiones, las distancias para los umbrales que señala el I.N.E. de 6.4 Kpa y 3.4 Kpa son para Minatitlán de 204.07 m y 318.07 m respectivamente; y para Salina Cruz son de 184.21 m y 287.21 m correspondientemente, sin generar en todos los casos pérdidas humanas ya sea por hemorragia pulmonar o por ruptura de tímpano.

Resulta obvio que al establecer o diseñar un plan de emergencia se deben considerar las condiciones que generen las "supuestas" peores consecuencias y, como los daños por sobrepresión son relativamente bajos en comparación con los de la radiación, al implementar un plan de Emergencia en los objetos de estudio se tomarán en cuenta los resultados obtenidos por el efecto de la radiación.

Capítulo IV



Conclusiones y Recomendaciones

1. CONCLUSIONES DEL HazOp

El primer objetivo se cumple adecuadamente con las once recomendaciones que generó el análisis de Riesgos y Operabilidad en Minatitlán, de las cuáles: una es de acción inmediata (A), tres deben ser evaluadas a través de un estudio costo beneficio (B) y las últimas, siete sólo sirven para aumentar el nivel de seguridad en el área (C).

En general dichas recomendaciones [Tabla 45] están encaminadas a hacer más eficientes y automatizados los dispositivos de control que posee el sistema (Recomendaciones rayadas horizontalmente) y cumplir con los diferentes procedimientos (recomendaciones sin relleno).

Tabla 45: Recomendaciones generadas por el HazOp en el TE-402 de acuerdo a su orden jerárquico.

NÚMERO	RECOMENDACIÓN	CLASE	CAUSA(S)
1.	f. (A) Realizar un estudio de factibilidad para determinar la posibilidad de cambiar las válvulas tipo vickers del sistema oleodinámico por válvulas de mariposa con indicación de abierto o cerrado.	A	V, VI, IX
2.	a. (M) Realizar un estudio de factibilidad para determinar la instalación de detectores de nubes explosivas en la casa central de bombas.	B	I, VI, VII
3.	h. (M) Realizar un estudio de factibilidad para determinar la instalación de bloqueos automatizados en esferas y equipo de bombeo.	B	VIII
4.	k. (M) Suministro en tiempo y forma de luminarias a prueba de explosión.	B	XI, XII
5.	b. (B) Instalar alarmas por alta temperatura.	C	II
6.	c. (B) Mandar señal al sistema automático de enfriamiento, cuando alarme por alta temperatura.	C	II
7.	d. (B) Seguir cumpliendo con los recorridos de vigilancia.	C	III, VII
8.	e. (B) Cubrir de forma oportuna las vacantes de operadores (bombero "C").	C	IV
9.	g. (B) Seguir cumpliendo el procedimiento para el recibo del propieno en la esfera.	C	VII
10.	i. (B) Instalar un control automático de temperatura en la esfera para activar sistema contra incendio.	C	X, XIII
11.	j. (B) Realizar un estudio de factibilidad para la reubicación de las válvulas macho de succión y recibo fuera del dique del tanque esférico TE-402 conforme a la norma DG-GPASI-SI-3600.	C	X



De forma similar, el Análisis HazOp en Salina Cruz comprende treinta y un recomendaciones: tres son de acción inmediata (A), diez y siete tendrán que ser evaluadas a través de un estudio costo beneficio (B) y finalmente, once que al implementarse aumentan el nivel de seguridad en el área (C).

En general dichas recomendaciones [Tabla 46] contemplan: no descuidar el mantenimiento preventivo (recomendaciones rayadas verticalmente), candado de válvulas (Recomendaciones rayadas horizontalmente); evitar el efecto de la corrosión y cumplir con los diferentes procedimientos (recomendaciones sin relleno).

Tabla 46: Recomendaciones generadas por el HazOp en el TE-18, de acuerdo a su orden jerárquico.

NÚMERO	RECOMENDACIÓN	NIVEL	CAUSA(S)
1.	h. (A) Asegurar el cumplimiento del mantenimiento preventivo a la válvula igualadora de presión.	A	III, VII
2.	s. (A) Seguir cumpliendo con los mantenimientos preventivos.	A	X
3.	dd. (A) Asignar recursos.		XIX
4.	a. (M) Instalar un circuito cerrado de televisión (CCTV) con señal al centro de operación de emergencias.	B	I, II, III, VII
5.	b. (M) Hacer un estudio para determinar en donde se debe instalar un sistema de aparata-rayos.	B	I, II, XVII
6.	c. (M) Cumplir al 100% con la integridad eléctrica del sistema de tierras.	B	I, II
7.	d. (M) Instalar detectores de fuego en los tanques esféricos.	B	I, II
8.	e. (M) Cumplir con el programa de inspección y reparación de tanques esféricos (al momento se tienen dos esferas con fecha de revisión vencida, TE-14, 15).	B	I, II
9.	f. (M) Habilitar un interlock con válvula automática para desviar o bloquear el flujo por alto nivel.	B	III
10.	g. (M) Candadear o flejar la válvula macho de la igualadora de presión en posición de abierta.	B	III, VII
11.	i. (M) Mantener candadeadas en posición abiertas las válvulas de entrada a las PSV's.	B	III, VII
12.	j. (M) Asegurar el cumplimiento del programa de calibración preventiva del circuito de protecciones.	B	III, VII
13.	k. (M) Asegurar el candado o flejado de las válvulas macho de bloqueo a las PSV's en posición de abierto, de acuerdo a un procedimiento de inspección, candado y autorización para abrir y cerrar dichas válvulas, en base a la norma PEMEX DIII-32-4 y al código internacional.	B	III, VII
14.	p. (M) Asegurar el mantenimiento y calibración de PSV's.	B	VIII
15.	t. (M) Se debe cumplir con las especificaciones del producto.	B	XI
16.	u. (M) Tener un inversor que suministre la energía eléctrica momentáneamente a los instrumentos.	B	XII
17.	v. (M) Incrementar la capacitación y establecer un procedimiento de selección riguroso para el personal que labora en esa área.	B	XII
18.	aa. (M) Tener en óptimas condiciones el sistema de diluivo.	B	XVI

Tabla 46: Recomendaciones generadas en el HazOp del TE-18 de acuerdo a su orden jerárquico. (continuación).

NÚMERO	RECOMENDACIÓN	NIVEL	CAUSA(S)
19.	bb. (M) Seguir cumpliendo con el mantenimiento a las válvulas macho de todo este sistema.	B	XVI
20.	ee. (M) Cumplir con los programas de acuerdo a normalidad.	B	XX
21.	i. (B) Continuar cumpliendo con el programa preventivo de mantenimiento de instrumentos (sistema de telemedición y alarmas por alto y bajo nivel).	C	IV
22.	m. (B) Continuar cumpliendo con el programa de inspecciones preventivas de riesgos (I.P.R.).	C	V, XVIII
23.	n. (B) Cumplir con: - Reglamento de labores. - Procedimiento de trabajo.	C	VI
24.	o. (B) Habilitar un interlock con válvula automática para desviar o bloquear el flujo por alta presión.	C	VIII
25.	q. (B) Seguir cumpliendo con los programas de mantenimiento.	C	IX
26.	r. (B) Continuar con el número mínimo de trabajos de soldadura en tanques esféricos.	C	IX
27.	w. (B) Continuar efectuando el programa de Inspección Preventiva de Riesgos (I.P.R.) y el de Mantenimiento Institucional.	C	XIII
28.	x. (B) Mantener adecuadamente el recubrimiento anticorrosivo en el área de esferas.	C	XIII
29.	y. (B) Después del sismo se revisa el estado en que se encuentran las líneas, tanques esféricos y estructuras.	C	XIV
30.	z. (B) Reubicar el núcleo poblacional (mediante la expropiación de terrenos).	C	XV
31.	cc. (B) Mantener en forma eficiente el sistema eléctrico de iluminación.	C	XVIII

En ambas tablas la letra del abecedario en minúscula corresponde al orden de aparición en el estudio y, la letra entre paréntesis a la prioridad que esta registrada en las hojas de trabajo HazOp.

En general se ha observado que los resultados que dependen directamente de la opinión del equipo HazOp, son un tanto diferentes entre Minatitlán y Salina Cruz.

Esto se debe, quizás a la gran experiencia que casi un siglo de operación les ha otorgado Minatitlán a sus ingenieros, o también, porque este estudio es la continuación de otro realizado un año atrás, permitiendo ciertas ventajas, como el que:

- 1°. Los ingenieros participantes estuvieran familiarizados con el uso y los beneficios de la técnica, y que
- 2°. Mientras se ejecutaba la segunda parte del análisis (del cual se desprende esta información) se implantaban las recomendaciones de la primera parte.



Este último apartado, al ser comentado en ambas Refinerías motivo a los ingenieros a participar más activamente, al entender que el análisis de riesgos y operabilidad que efectuaban no sólo sería un papel en un cajón, sino una herramienta de trabajo que va a ser empleada por ellos, ya que justifica con fundamentos las acciones o recursos necesarios para eliminar ciertas carencias en el área, para a la larga beneficiar a todos.

Por todo lo anterior, las recomendaciones generadas en "Mina" son menores y diferentes de las obtenidas en Salina. En cambio, al ser el primer análisis efectuado en el área 4, por el equipo PEMEX-UNAM, se puede observar con más claridad las necesidades del área y los aspectos en los que siempre se debe estar alerta para evitar las «condiciones indeseables.».

2. CONCLUSIONES DEL ÁRBOL DE FALLAS.

De acuerdo a los resultados del árbol de fallas generados en ambos objetos de estudio, la causa principal que puede conducir a una "BLEVE en un tanque esférico" es la falla en el programa de mantenimiento.

Dado que todos los equipos están diseñados con elementos capaces de hacer frente a la mayor parte de las desviaciones comunes, si fallan las revisiones periódicas (como es el caso del mantenimiento), los equipos, aunque estén prevenidos no responderán adecuadamente.

Es así como, el programa de mantenimiento además de minimizar los riesgos operacionales (estudio HazOp) permite elevar la productividad, por lo cuál, es importante suministrar los recursos requeridos en tiempo y cantidad para su correcta aplicación.

Otras causas menos críticas, que combinadas simultáneamente pueden provocar el escenario descrito son:

	Error humano (descuido)	Bloqueo cerrado de la PSV	Falla en los instrumentos de nivel
Agentes externos como sismos o huracanes.	✓		✓
Desperfectos mecánicos como mal soldadura		✓	✓
El tanque opera en límite de retiro o con fecha de mantenimiento.			✓

Por lo que, las recomendaciones a señalar tienen el objetivo de evitar las combinaciones arriba puntualizadas con paloma. Por ejemplo: respetar la fecha de mantenimiento del recipiente y colocar instrumentación redundante (de regulación y control de llenado), que sea independiente entre sí, para que al ser reparados no se deje a la esfera fuera de servicio.

La instrumentación redundante permitirá que el operador reaccione rápidamente ante un sobrellenado, evitando así el descuido. Para detectar cualquier anomalía en las soldaduras se debe tener un riguroso control periódico de espesores y del grado de corrosión, usando métodos de ultrasonido o tintas penetrantes. Para

mantener las válvulas macho de bloqueo a las PSV's abiertas, éstas serán candadeadas o flejadas en el momento que se termine su mantenimiento.

Existen otros eventos que también pueden conducir a una BLEVE, pero requieren que se presenten al mismo tiempo tres o más eventos básicos, entonces, la probabilidad de ocurrencia por estas secuencias de eventos será baja (por ejemplo ver en las tablas 32 y 34 los conjuntos 17 al 31, ligeramente coloreados, donde se observan probabilidades más bajas).

En este caso, la probabilidad obtenida para el evento "BLEVE en la esfera TE-402" es de aproximadamente 6.001×10^{-7} y de 1.483×10^{-5} para "BLEVE en la esfera TE-18"; ambos resultaron ser aceptables.

Como ya se habrá observado, a partir de la definición de todas las causas directas e indirectas que provocan una "BLEVE en un tanque esférico", se empieza a constituir la estructura del árbol; una vez esbozado el diagrama, se aplica un tratamiento matemático que permite obtener las posibles secuencias de eventos (conjuntos mínimos) que son capaces de originarlo.

La probabilidad del evento culminante se obtendrá suponiendo que el evento culminante está relacionado con las secuencias de sucesos anteriores, mediante una compuerta de tipo "O", esto es, como la suma de todos los conjuntos mínimos.

Por lo tanto, es muy importante comprender el suceso culminante desde el principio para no errar los resultados.



3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

De toda la información que proporcionó el análisis de consecuencias, lo más notable es que las condiciones que provocan una "BLEVE en un tanque esférico" cuyos resultados (efectos de tipo térmico y mecánico) serían más fatales son: las altas temperaturas que llevan a un subsecuente aumento de presión, y un cierto espacio de vapor (o volumen); este último parece ser el que determina la fragmentación del tanque y la magnitud de la onda de choque.

Comparando los daños por sobrepresión, se encuentra que estos son relativamente más bajos de los que son ocasionados por la bola de fuego; ya que la magnitud de estos, se debe al fuego intenso y la exposición prolongada a la radiación. También, se observa que las dimensiones catastróficas de una bola de fuego dependen de la cantidad de material inflamable almacenado.

La recomendación generada de este análisis es desarrollar un Plan de Emergencia. Por lo tanto, los efectos a considerar en la elaboración de un Plan de Emergencia tanto interno (para los empleados de la empresa) como externo (para las comunidades circundantes) son los provocados por la radiación térmica.

El objetivo del Plan no sólo es otorgar un mayor control administrativo, también es, planificar una respuesta exterior adecuada en caso de siniestros (para minimizar las consecuencias).

El Plan deberá contener: la organización y recursos, los procedimientos para la evaluación de la gravedad de los accidentes, procedimientos de comunicación y notificación de emergencia, la coordinación y mando durante la emergencia, la priorización de las actuaciones durante la emergencia, los simulacros y el mantenimiento al día del plan.

También, es conveniente divulgar entre los trabajadores o las personas que se encuentren en el área de almacenamiento la información técnica de las sustancias y condiciones de operación de la misma, a fin de que el individuo conozca los riesgos a los que está expuesto y pueda tomar una acción en caso de incidente. Además de difundir los efectos y las causas de una BLEVE en un tanque esférico.



Es aconsejable realizar un análisis de consecuencias más profundo que contemple los daños provocados por un efecto Dominó y considerarlo dentro del Plan de emergencia.

De acuerdo al análisis de riesgos completo, una esfera de almacenamiento deberá contar con los siguientes recursos para evitar:

1. Las sobrepresiones accidentales:

- Instrumentación redundante para que actúen, si en cierto tiempo no ha actuado el primer instrumento, por ejemplo: Indicador de nivel (tope y fondo de la esfera), Alarma por alto y Bajo nivel, Alarma por alto nivel, Alarmas por alta temperatura, Alarmas por alta y baja presión, Manómetro en la parte superior, Sistema de telemedición (presión, temperatura y gravedad específica)

- Sistemas para alivio de la presión interna. Tener dos válvulas de seguridad en paralelo con sus respectivas válvulas de bloqueo, para que al hacer el mantenimiento en una de ellas, el equipo no este sin protección. Para reducir los riesgos de contaminar el ambiente, es aconsejable enviar la descarga a un quemador, mediante un cabezal de desfogue.

2. El calentamiento externo.

- Sistemas de contraincendio. Como extintores fijos y móviles, además de sistemas de diluvio y/o rociado activados automáticamente con la alarma por alta temperatura, sistema de detección de hidrocarburos, sistema de tierras instalado, sistema para aislamiento de emergencia (Válvulas vickers).

En general, para evitar incidentes es importante delimitar el área de almacenamiento y, dado que normalmente fallan las revisiones periódicas, cumplir con los programas de mantenimiento preventivo y calibración. Además de poseer un buen entendimiento de la naturaleza del proceso.

La calidad de los resultados obtenidos en un análisis de riesgos es directamente proporcional al grado de especialización que posea cada integrante del equipo de trabajo en el área que representa, y de su participación activa y positiva al trabajar en equipo; así como, de la dirección de un profesional experimentado y familiarizado con la técnica. Es por esto, que la elaboración de los estudios de riesgo implican una gran responsabilidad.



Puesto que los resultados del análisis contienen conclusiones importantes tanto para la industria en cuestión, como para su entorno; éstos servirán de apoyo para la toma de decisiones acerca del proceso o la planta.

Sea cual sea el nivel al que se haya reducido el riesgo, después de implantar las recomendaciones señaladas; siempre existirá una probabilidad finita de que ocurra una falla de consecuencias potencialmente graves para las personas, al ambiente o las instalaciones. Además, no esta garantizada la identificación de todos los escenarios posibles, ni las mejores soluciones para minimizar los peligros encontrados.

La vida útil de un análisis de riesgos es algo similar a la que puede tener una llave inglesa, el empresario pone el capital para adquirirla y el operador la utiliza; cuando es nueva cumple con su función, afloja y aprieta a la perfección, pero con el uso va perdiendo efectividad, por lo tanto habrá que adquirir otra. Y por ser necesaria, no importa si es o no rentable.

La gran demanda que han tenido los estudios de riesgos en las instalaciones de PEMEX se deben a su joven política institucional, que, de lograr todos sus objetivos, le permitirá colocarse como una empresa líder a nivel mundial en su rama y en los aspectos de Seguridad Industrial, Protección Ambiental y en prevención de accidentes/incidentes. En otras palabras, al ofrecer un producto, busca respetar los aspectos legales, la protección de los valores humanos, el resguardo del medio ambiente y la satisfacción del cliente.

Para vigilar el logro de estos objetivos PEMEX ha desarrollado e implantado el Sistema Integral de Administración para la Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA). Este sistema señala como administrar todos los recursos que tengan repercusiones directas o indirectas con los aspectos de Seguridad Industrial y Protección Ambiental. Es, dentro de estos recursos donde aparecen los estudios de riesgos como herramientas básicas para minimizar los riesgos dentro de sus instalaciones.

Por ser sólo un sistema, no basta con las herramientas, debe existir el compromiso y esfuerzo de todos sus trabajadores para alcanzar las metas deseadas, así como, los recursos básicos que permitan la acertada toma de decisiones, en otras palabras, contar con la información técnica correcta de cada proceso.

La unión de esfuerzos PEMEX-UNAM ha permitido apoyar al SIASPA en el logro de sus objetivos, mediante:



- a) La actualización o el levantamiento confiable de los Diagramas Técnicos Industriales de las Plantas de Proceso, así como su digitalización.
- b) La realización de estudios de riesgos en la mayoría de sus instalaciones, y
- c) La implantación del Sistema de Información de los Diagramas Técnicos Inteligentes (SIDTI).

La importancia de la implantación del SIDTI en PEMEX radica en que al poseer:

1. La infraestructura necesaria para mantener, procesar y conservar en forma segura la información,
2. Los procedimientos que aseguran que el proceso de consulta de la información es rápido y eficaz, con información actualizada y completa,
3. La distribución y localización de la información que permite asegurar su disponibilidad en el campo y en todos aquellos sitios en dónde se requiera para desarrollar actividades asociadas con la tecnología del proceso.

Hace más confiable la oportuna toma de decisiones para el control de los procesos y prevenir, evitar o mitigar los riesgos y malas prácticas en todos los niveles de la organización. Apoyando de esta forma, al SIASPA en la prevención de accidentes. Además, facilita el control en la administración de la información.

También, permite tener información:

- * Confiable acerca de los procesos, con el fin de simple consulta y para mejora de los mismos.
- * Libre de incertidumbre para la toma de decisiones en proyectos de expansión de la planta.
- * Exacta, para la identificación de riesgos potenciales en las instalaciones. (Análisis de Riesgos).
- * Oportuna para enfrentar con mejores elementos las auditorías para el reaseguro de las instalaciones.
- * Para desarrollar mecanismos de control que eviten en lo posible impactos negativos al ambiente.

Al ser una herramienta que ayuda para contar con procesos más eficientes y eficaces, se puede incrementar la productividad de la planta y disminuir los incidentes y accidentes garantizando la seguridad de los trabajadores de PEMEX, sus instalaciones y las comunidades cercanas a sus centros de trabajo.

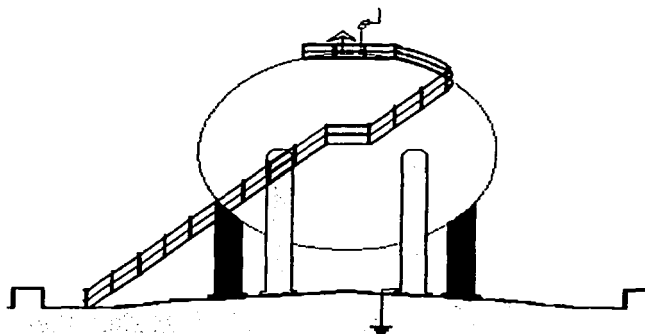
Finalmente, es importante reconocer que la actitud general de la gerencia hacia las normas de seguridad pueden (cuando el énfasis es correcto) contribuir significativamente a la reducción de la frecuencia de los accidentes. El resultado de fomentar la seguridad se ve aumentado en el nivel de entrenamiento de todo el



personal, la adhesión a procedimientos de operación establecidos, buenas normas de mantenimiento, la aplicación correcta de sistemas de aprobación a las modificaciones y permisos de trabajo, verificaciones regulares y eficientes de todos los sistemas de seguridad y control y un informe concienzudo de circunstancias anormales, fallas y accidentes menores.

El éxito de una empresa no sólo se debe a su crecimiento consistente y planeado como resultado de una buena administración o a las grandes inversiones necesarias para cumplir con su política; sino también, al esfuerzo que realiza la dirección para promover y hacer sentir en todo el personal la satisfacción de formar parte de la empresa; lo cual se refleja en la calidad de su desempeño laboral.

Estas buenas actitudes serán plenamente efectivas si la condición general de seguridad de la gerencia es visible y está respaldada por los medios apropiados (inspección, acciones disciplinarias, etc.), lo cual, aunado al crecimiento constante y planeado como resultado de una buena administración o a las grandes inversiones necesarias para cumplir con su política y al esfuerzo que realiza la dirección para promover y hacer sentir en todo el personal la satisfacción de formar parte de la empresa (se refleja en la calidad de su desempeño laboral) logra el éxito de la empresa.



Apéndices

APÉNDICE A.

PROPILENO

Fórmula:	Peso molecular:	Composición:
C ₃ H ₆	42.081 g/mol C ₃ H ₆	H: 14.373 % C: 58.627%

GENERALIDADES

El propileno (propeno [I.U.P.A.C.], CH₂-CH=CH₂), es el segundo miembro de la serie de hidrocarburos monoetilénicos normales. A presión atmosférica y temperatura ambiente, es un gas incoloro e inflamable, de olor olefínico débil, más pesado que el aire (aire=1, propileno=1.5 aproximadamente).

Cuando se encuentra a temperaturas superiores a 497°C se enciende sin necesidad de fuentes de ignición, siempre que se encuentre formando una mezcla óptima inflamable con el aire.

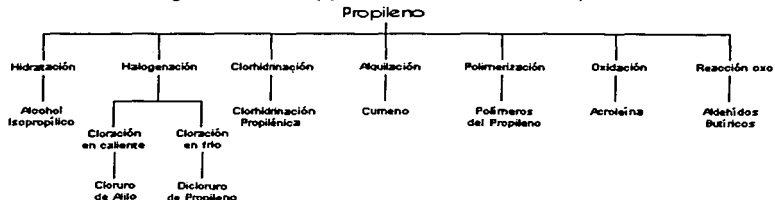
El gas comprimido al contacto con la piel puede causar congelamiento. Es considerado un asfixiante simple, al provocar dificultad para respirar por el desplazamiento del oxígeno del aire. La exposición a altos niveles origina ligera irritación en los ojos, mareos y ritmo cardíaco irregular.

Es materia prima para la fabricación de productos como: acrilonitrilo, alcohol isopropílico (2-propanol); *isopropilbenceno (cumeno)*, butiraldehído, *glicerina 1,2,3-trihidroxipropano (glicerol)* y otros más; que a su vez, sirven para la producción de fibras, solventes, anticongelantes, gasolinas, explosivos, detergentes, plásticos de polipropileno, etc. También, se usa en odontología como anestésico temporal.

Dentro de la industria petrolera, el alqueno es obtenido en las plantas de "cracking catalítico" y, como subproducto, en las plantas de etileno.

Usos

Fig. 1: Reacciones y productos derivados del Propileno.



El propeno es materia prima de varios productos, los cuáles son sintetizados a partir de diferentes reacciones [Figura 1] y, a su vez, tienen bastantes aplicaciones; por ejemplo:

• Acrilonitrilo.

Se aplica para elaborar caucho artificial y fibras como orlón o acríani.

• Alcohol isopropílico.

Usos: fabricación de acetona, disolvente de lacas, anticongelante, cristalización de vitaminas y otros más.

• Cloruro de alilo.

Material de partida para producir el aletrin, ingrediente de las fórmulas de insecticidas.

• Isopropilbenceno (cumeno)

Sirve para obtener solventes, lacas, etc. Se agrega a los combustibles de aviación por su alto octanaje.

• Glicerina (glicero)

Obtención de: lacas, medicamentos, cosméticos, explosivos como la nitroglicerina, anticongelantes, etc.

• Polipropileno

Permite aumentar el índice de octano en olefinas y obtener el n-dodecibenceno (detergente).

NÚMEROS DE IDENTIFICACIÓN

CAS:	[115-07-1]	UN:	1075.1077
NIOSH:	UC 6740000	RTECS:	UC 6740000
HAZCHEM CODE:	2WE	NFPA:	Salud: 1. Fuego: 4. Reactividad: 1

Marcaje: GAS INFLAMABLE (extremadamente).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SINÓNIMOS

EN ESPAÑOL:	EN INGLÉS:
PROPENO	PROPENE
1-PROPENO.	1-PROPENE
1-PROPILENO	1-PROPYLENE
PROPILENO	PROPYLENE
METIL-ETILENO	METHYLETHYLENE
METIL-ETENO	METHYLETHENE

Otros idiomas:

- PROPILENE (FRANCÉS)
- PROPYLEN Propileno (ALEMÁN)
- PROPEN Propeno (ALEMÁN)
- PROPILENE (ITALIANO)

PROPIEDADES FÍSICAS Y TERMODINÁMICAS

Este alqueno es un gas incoloro que al comprimirse forma un líquido a baja presión, su olor es suavemente gaseoso; en la tabla A se incluye algunas de sus propiedades.

Tabla A: Propiedades físicas y termodinámicas del propileno*.

Punto de Fusión	-185.2°C
Punto de Ebullición	-47.7°C
Punto Triple	-185.25°C
D ₄ ⁴⁷	0.6095(7.15)
D ₄ ²⁰	0.513
D ₄ ²⁵	0.5053
Densidad del vapor (aire=1)	1.49 ó 1.46
Densidad relativa del líquido a 0°C:	0.581
Gravedad específica	0.51 (líquido a 20°C)
Viscosidad a:	
-185°C	15 centipoises
-110°C	0.44 centipoises
Temperatura Crítica	91.4 - 92.3°C
Presión Crítica	45.0 - 45.6 atm
Volumen Crítico	181.664 l/kmol.
Volumen mol (líquido) a:	
20°C	81.88 ml/mol
25°C	83.27 ml/mol
Calor de Fusión	16.7 cal/g
Calor de Vaporización a - 47.7°C	104.62 cal/g
Calor de Formación a 25°C	4 879 cal/mol
Energía Libre de Formación a 25°C	14 990 cal/mol
Calor de Combustión del Gas.	10 934 cal/g

Tabla A: Propiedades físicas y termodinámicas del propileno*. (Continuación)

Capacidad Calorífica, Cp, a 25°C	15.27 cal/(mol)(°C)
Índice de refracción:	1.3567 (-40°C)
Límites de inflamabilidad en el aire:	
- Superior	11.1 % vol
- Inferior	2.0 % vol
Límites de explosividad en el aire:	
- Superior [UEL:10.1%]	10.3 (10.1%)% vol
- Inferior [LEL: 2.4%]	2.4 % vol
Valor Calorífico (saturado con vapor de agua) a 155 °C y 1 atm	20 441 kcal/m ³
Presión de Vapor a 19.8°C:	10 atm (7600 torr)
Flash point (punto de inflamación):	-107.7 °C
Temperatura de autoignición:	460°C ó 455°C
Temperatura de ignición	497°C
Constantes de Van Der Waals:	
- a	8.379 (atm)(l)/(mol) ²
- b	0.08272 l/mol
Es soluble en	Alcohol, etanol, éter, acetona y benceno.
Solubilidad a 20°C y presión atmosférica, en:	(ml gas/100 ml de disolvente)
- Agua (Ligeramente)	44.6
- Alcohol etílico	1 250
- Acido acético	524.5

A partir de la siguiente expresión, se puede calcular su presión de vapor en milímetros de mercurio a diferentes temperaturas (en grados Celsius, °C).

$$\log P_{\text{mm}} = 6.81960 - [785.00/(247.00 + t)]$$

PROPIEDADES QUÍMICAS

La ecuación de la reacción para la combustión^o completa del propeno es:



En el caso de que la combustión sea incompleta, se producen gases irritantes y hollín negro:



Puesto que el propeno posee un lugar de insaturación, generado por su doble enlace, es altamente reactivo con sustancias como: NO₂; N₂O₄; N₂O; LiNO₃ (óxidos de nitrógeno); SO₂; trifluoro metil hipofluorito, materiales oxidantes fuertes (como percloratos, peróxidos, permanganatos, cloratos y nitratos.)

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-003-ECOL/1993* el propileno esta localizado dentro del grupo 28 (Hidrocarburos Alifáticos No Saturados), lo cual, lo hace incompatible con los números de grupos reactivos 1, 2, 5, 30 y 104 [Tabla B].

Tabla B: Grupos de sustancias incompatibles con el propeno de acuerdo a la NOM-CRP-003-ECOL/1993.

No. de Grupo Reactivo	Nombre del grupo	Consecuencia de la Reacción
1	Ácidos Minerales No Oxidantes	<ul style="list-style-type: none"> • Genera calor por la reacción química.
2	Ácidos Minerales Oxidantes	<ul style="list-style-type: none"> • Genera calor por la reacción química. • Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.
5	Aldehídos y sus isómeros	<ul style="list-style-type: none"> • Genera calor por la reacción química.
30	Peróxidos e hidropéroxidos Orgánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Genera calor por la reacción química. • Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.
104	Agentes Oxidantes Fuertes	<ul style="list-style-type: none"> • Genera calor por la reacción química. • Produce fuego por reacciones exotérmicas violentas y por ignición de mezclas o de productos de la reacción.

Si el alqueno reacciona óxidos como ozono (O₃) o peróxido de hidrógeno (H₂O₂) en presencia de ácido sulfúrico (H₂SO₄) se obtienen productos inestables que pueden explotar.

La polimerización es favorecida con temperaturas elevadas, materiales oxidantes o peróxidos; la luz inicia la polimerización explosiva* del propileno, nitrato de litio y dióxido de sulfuro, dentro de un recipiente de vidrio presurizado a 20°C. Reacciona con un amplio margen de materiales.

NIVELES DE TOXICIDAD

LÍMITES DE EXPOSICIÓN PERMITIDOS EN EL AIRE**.

El organismo para la salud y seguridad (Health & Safety Executive, HSE), y el organismo norteamericano de higienistas industriales (American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH (1988/89)), clasifican al propileno como un *simple asfixiante* sin valor numérico para el valor umbral límite (threshold limit value, TLV).

Dentro del proyecto USSR-UNEP/IRPTC se ha fijado una concentración máxima presente en el aire dentro de un área de trabajo, a la cual no hay daño al trabajador, durante una jornada de 8 h/día y 40 h/semana

(Maximun Arbeitsplatz Konzentration, MAK) de 3.0 mg/m³. La concentración a la cual se comienza a oler es de 76 ppm.

Para el propileno se tiene TLV (ACGIH) = 4000 ppm^m.

MANEJO

EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL:

La selección del equipo de protección personal dependerá del riesgo asociado a la actividad que se realice. Si existe el riesgo de tener contacto de propileno con los ojos, se deben usar gafas o monogafas de seguridad a prueba de salpicaduras y de material inastillable.

Fig. 2: Equipo de protección obligatoria personal



En todas las operaciones que estén asociadas al manejo de propileno deben emplearse guantes de cuero o caucho (resistentes a los químicos y aisladores de frío) para proteger las manos. Para reducir al mínimo el riesgo de recibir golpes en la cabeza, se debe usar el casco de seguridad.

La utilización del calzado de seguridad será obligatorio cuando exista riesgo de accidentes por golpes o pinchazos en los pies, cuando exista riesgo de caída por deslizamiento de la superficie, aislamiento del suelo o combinaciones de las mismas.

Cuando el trabajo tenga que ser desarrollado en ambientes deficientes en oxígeno (lugares no ventilados) se tiene que emplear equipo de protección respiratoria, ya que la exposición al propileno, reemplaza el oxígeno y puede llevar a la sofocación. Si un trabajador que porte una máscara, percibe el olor del hidrocarburo, indica que la máscara está mal ajustada; o, que la concentración del vapor está por encima de los límites en los que opera bien este equipo; por lo tanto, el trabajador debe retirarse de inmediato de esta área.

Al trabajar en lugares donde exista la posibilidad de exposición a salpicaduras del alqueno líquido o vapores fríos, los trabajadores serán provistos con vestimenta de protección especial (trajes de hule) para prevenir la congelación de los tejidos del cuerpo.

- Todo el equipo de protección (troje, guantes, calzado antichispa, casco) se debe limpiar cada día y usarse correctamente durante toda la jornada de trabajo.

RIESGOS

RIESGOS DE FUEGO Y EXPLOSIÓN.

Los vapores de propero son más pesado que el aire; por lo que sus vapores son capaces de viajar distancias considerables hasta una fuente de ignición, prenderse y transportan el fuego hasta el lugar de la fuga que lo origino. Se pueden encender por calor, chispa o flama y forman mezclas explosivas óptimas con el aire en el rango 2.4-10.1% en volumen.

La formación de nubes de vapor a partir de fugas son los principales peigrros que pueden provocar una explosión, debido a su rápida dispersión. Bajo condiciones inusuales (955 atmósferas de presión y 327°C) explota*. El propileno líquido ha explotado al contacto con agua dentro del rango de 41.85°C a -25.15°C.

Es posible que los cilindros y tanques sometidos al fuego se rompan violentamente y salgan proyectados, si cede la válvula. El alqueno arde en el aire con flama amarilla produciendo hollin negro.

RIESGOS A LA SALUD.

El contacto con el gas licuado causa quemaduras a los ojos y tejidos de la piel debido al efecto congelante generado por la rápida evaporación. En general, es poco tóxico. Los síntomas que normalmente se presentan a altas concentraciones son: narcosis (parálisis) o pérdida del conocimiento; asfixia, alteración del ritmo cardíaco y del sistema nervioso central.

- **Inhalación del vapor.**

Considerado como un asfixiante simple, los efectos que se presentan se deben a la escasez de oxigeno disponible para respirar, a altos niveles causa dolor de cabeza, mareos, pesadez mental, delirios, pérdida del conocimiento, color azulado en la piel, y ritmo cardíaco irregular. Además, las exposiciones prolongadas provocan daño al hígado.

Los efectos reportados en seres humanos después de exponerse a 6.4 % de propileno durante 2 a 25 minutos incluyen leve intoxicación, parestesias^a y falta de concentración; estos síntomas aumentan después de 1 minuto de estar expuestos a concentraciones del 12.8%; a los 3 minutos con 24 a 33% hay inconsciencia, vómito y vértigo. Con 35 y 40% enrojecimiento de ojos, irritación de la cara, lagrimeo, tos, y temblor en las piernas, la respiración y el pulso cambian después de estar expuestos por pocos minutos al 40, 50 y 75%. El 50% se anestesió a los dos minutos y se recuperaron completamente.

La exposición crónica produce ligera malformación en el tejido adiposo en ratones y heridas poco severas en el riñón e inflamación nasal de ratas.

- **Contacto con los ojos.**

El gas causa poca o ninguna irritación en los ojos; pero el líquido origina quemaduras.

- **Contacto con la piel.**

El gas no irrita la piel, pero cuando se comprime a líquido produce quemaduras en los tejidos por congelación debido a la rápida evaporación.

- **En caso de ingestión.**

El contacto directo con el líquido provoca quemaduras por congelación, en la boca y garganta.

- **Efectos Cancerígenos.**

No hay evidencia real en ratas y ratones expuestos a 2000 y 5000 ppm de propileno por 7 horas al día, 5 días a la semana durante 18 meses en ratones y 24 meses en ratas. No produjo tumores cerebrales en ratas expuestas a 200 y 5000 ppm de propileno durante 7 horas al día, 5 días a la semana por 104 semanas. Por lo tanto, no hay evidencia de que sea cancerígeno en ratas o ratones. Se han notado signos de toxicidad en la cavidad nasal de las ratas expuestas a dosis superiores a las 10,000 ppm de propileno, cuando el alqueno es metabolizado a óxido de propileno puede derivar en algún riesgo cancerígeno.

- **Efectos Mutagénicos.**

No se ha encontrado evidencia.

- **Peligros Reproductivos.**



No hay información disponible.

ACCIONES DE EMERGENCIA

PRIMEROS AUXILIOS.

- **Ojos.**

Lavarlos con abundante agua limpia abriendo bien los párpados, por lo menos durante 15 minutos.

- **Pulmones.**

Mover a la víctima del área de exposición, aflojar la ropa y calzado contaminado; evaluar los signos vitales. Si está inconsciente no administrar nada por la vía oral; si no hay pulso, proporcionar rehabilitación cardiopulmonar; si no respira, dar respiración artificial; si tiene dificultad para respirar, proporcionar oxígeno.

Si la víctima esta consciente, acostarlo y mantenerlo sobre el suelo, o en un lugar tranquilo; si se dispone de aparato inhalador de oxígeno administrarle; ya que pueden presentarse convulsiones y causar inconsciencia. Cuando hay irregularidad en el ritmo cardíaco se recomienda vigilar las 24 horas.

- **Ingestión.**

No provocar el vómito. Si la víctima esta inconsciente, tratar como en el apartado anterior; pero si esta consciente, darle a beber aproximadamente ¼ litro de agua.

- **Piel.**

En caso de lesión por congelamiento lave y/o sumerja las partes afectadas en abundante agua tibia por lo menos durante 10 minutos y retire la ropa contaminada inmediatamente. Mantenga tranquila a la víctima y cuide la temperatura corporal.

- En todos los casos de exposición, el paciente debe ser trasladado al hospital lo más pronto posible.

CONTROL DE FUEGO.

Los grandes fuegos de propileno son difíciles de extinguir; por lo que cuando sucedan, es necesario:

- Considerar la evacuación a favor del viento, tomando en cuenta una evacuación inicial de 1500 m. a la redonda (REF. 17 SETIQ). Apagar el fuego desde la máxima distancia o utilizar soportes autónomos para mangueras o pitones reguladores. Con ello, el personal que combata el incendio, se mantendrá

contra el viento, a la máxima distancia posible, con equipo de respiración y ropa de protección especiales; nunca aplicar el chorro de agua sobre la fuente de la fuga o a las válvulas de seguridad ya que puede haber congelamiento.

- Medio de extinción:

Fuegos pequeños: utilizar polvo químico seco, CO₂ o agua en forma de rocío.

Fuegos Grandes: utilizar agua en forma de rocío, niebla o espuma (Nota: no utilizar chorro de agua).

- Detener o controlar la fuga de gas antes de extinguir el incendio.
- La propagación del fuego se previene usando un sistema de espray con agua para enfriar los contenedores expuestos.
- Enfriar los contenedores con abundantes volúmenes de agua durante un periodo largo de tiempo aun después de que el fuego haya sido extinguido.
- En espacios cerrados es recomendable ventilar antes de entrar.

ALERTA: Cuando el tanque de almacenamiento presente una o más de las siguientes características:

1. Comience a deformarse,
2. Aparezcan protuberancias o
3. Su esmalte se empieza a decolorar y/o
4. Aumente el sonido de las válvulas de seguridad.

Evacuar ¡DE INMEDIATO! a todo el personal, incluidos los bomberos.

FUGAS DE GAS.

- Mantener alejadas del área cualquier fuente de ignición y sustancias inflamables.
- Usar ventilación forzada para mantener las concentraciones de gas debajo de los límites en que se forman mezclas explosivas óptimas.
- Utilizar cortina de agua para reducir los vapores o desviar la nube de vapor.
- Liberar lentamente el exceso de gas o dirigir el escape del cilindro hacia un espacio abierto y seguro.
- Los residuos de mezclas que contengan propileno deben contenerse para evitar su introducción a las alcantarillas o al drenaje porque existe el peligro de que se enciendan los vapores.

DESECHOS.

- El método sugerido para desecharlo es la incineración controlada.

ALMACENAMIENTO

El propileno es almacenado usualmente como un líquido bajo presión, siendo sumamente volátil en estas condiciones, por lo tanto, se recomienda almacenarlo en un área no combustible en el exterior o que sea independiente, este bien ventilada, seca, fresca y con monitoreo continuo de gases inflamables.

Puede guardarse con seguridad en recipientes adecuados a temperatura ambiente. Los recipientes generalmente son de acero soldado, así como, la tubería y el equipo relacionado. La temperatura de almacenamiento de los tanques no excederá los 52°C¹¹ y estarán estrictamente cerrados.

Todos los tanques de almacenamiento deben estar conectados a tierra para protegerlos contra tormentas eléctricas y, para drenar a tierra la electricidad estática que se genera durante las operaciones. Si los conductores están rotos o las conexiones flojas, estos deberán ser reparados inmediatamente.

Los contenedores del alqueno estarán protegidos contra daño físico, alejados de fuentes de ignición (fumar y flamas abiertas), del calor o la luz del sol y de oxidantes fuertes (percloratos, peróxidos, permanganatos, cloratos y nitratos).

Cuando se abran o cierren los recipientes se usarán únicamente herramientas y equipo anti-chispas, también, donde quiera que se maneje, manufacture o almacene propeno.

Cantidades comerciales son transportadas como líquido en cilindros de acero; tanques presurizados sobre camiones, por buques, o gasoductos.

REQUISITOS DE TRANSPORTE Y EMPAQUE

- **Transportación terrestre:**

Marcaje: 1077. Gas Inflamable.

Código HAZCHEM: 2WE.

- **Transportación marítima:**

Código IMDG: 2147

Clase: 2 (2.1)

Marcaje: Gas inflamable.

• **Transportación aérea:**

Código ICAO/IATA: 1077

Clase: 2; 3

Etiqueta: Gas inflamable.

Instrucciones de empaque:

- ❖ Cargamento: 200
- ❖ Pasajeros: prohibido
- ❖ Cantidad máxima de pasajeros en vuelos: prohibido.
- ❖ Capacidad máxima de cargamento por avión: 150 Kg.

COMENTARIOS

CAS
UN

Número asignado por Chemical Abstracts a la sustancia.
Número asignado por la ONU a las sustancias químicas peligrosas, se utiliza internacionalmente en los transportes terrestres, ferroviarios y aéreos.

NFPA

Esta asociación creó un rombo de colores para representar una sustancia química ante un siniestro mediante números del 0 al 4.
Los Colores del Rombo son: Azul (izquierda) para peligro a la salud; rojo (arriba) para peligro de inflamabilidad; amarillos (derecha) para peligro de reactividad y blanco para peligros especiales donde se coloca parte de la palabra.

COLOR SIGNIFICA NÚMERO	AZUL	ROJO	AMARILLO
	SALUD	INFLAMABILIDAD (en base a su temperatura de inflamación).	REACTIVIDAD
0	Sin riesgo	No inflamable	Estable
1	Ligeramente peligroso	Más de 93°C	Inestable si se calienta
2	Peligroso	Menos de 93°C	Cambio Químico Violento
3	Peligro extremo	Menos de 23AC	Detona con calor y/o golpe
4	Mortal	Menos de 23AC	Detona

HAZCHEM code

Código utilizado por el servicio de Emergencias del Reino Unido para clasificar sustancias peligrosas transportadas por vía terrestre

IMDG code

Existen 9 clases de cargas peligrosas: explosivas (clase 1), gases comprimidos (clase 2), líquidos inflamables (clase 3), sólidos inflamables y sustancias de combustión espontánea (clase 4), sustancias oxidantes (clase 5), sustancias venenosas (clase 6), materiales radioactivos (clase 7), corrosivos (clase 8), y sustancias misceláneas (clase 9). La clase 3 esta dividida por su punto de inflamación. Este código es utilizado, también en organizaciones como DOT (Department Of Transportation) E.U., CANUTECC (Canadian Transport Emergency Centre) Canadá y el SETIQ (Sistema de Emergencia en Transporte para la Industria Química) México.

IATA

Las sustancias peligrosas se clasifican igual que en el caso IMDG Code.

APÉNDICE B.

Para prevenir que en un equipo se alcancen niveles de presión que provoquen roturas o fallos mecánicos, se diseñan sistemas de alivio de sobrepresión (*de seguridad*) que actúan hasta que la presión, en el equipo o circuito que deban proteger, caiga de nuevo dentro de los límites normales de funcionamiento.

Como ejemplo de estos sistemas están: los discos de ruptura y las válvulas de seguridad para alivio de presiones, los cuáles en todo momento deben estar en perfectas condiciones para evitar que se vuelvan ineficaces (por un diseño incorrecto o un deficiente mantenimiento).

La sobrepresión en los contenedores es originada por condiciones anormales de operación (como elevaciones de temperatura, llenado, y otras más), o emergencias (fallo de energía eléctrica o de refrigeración incendios, etc).

VÁLVULAS DE SEGURIDAD PARA ALIVIO DE PRESIONES.

Las válvulas de seguridad son diseñadas e instaladas de acuerdo a los requisitos señalados en el Reglamento de aparatos a presión de códigos como: API, ASME, NFPA, etc. Su diseño permite que al abrir y descargar cierta cantidad de fluido, se alivie el aumento de la presión interna del fluido en el tanque.

Para seleccionar el tamaño y la presión de timbre en una válvula de seguridad se toma en cuenta la presión máxima de trabajo, la presión de operación del equipo protegido y la capacidad de descarga requerida. En el cálculo del caudal de descarga se consideran todas las posibles contingencias que pueden ocurrir en condiciones normales de operación y en condiciones anormales o de emergencia.

De acuerdo a su elevación las válvulas pueden ser de dos tipos:



- VÁLVULAS DE SEGURIDAD DE APERTURA INSTANTÁNEA. Cuando se supera la presión de tarado (presión a la cual abre la válvula) la válvula abre repentinamente y totalmente.
- VÁLVULAS DE ALIVIO DE PRESIÓN. Cuando se excede la presión de tarado dentro del tanque, de forma automática suelta el excedente de presión y cierra; de esta forma, el mecanismo queda disponible para actuar y prevenir un nuevo alivio. Si el resorte está vencido u oxidado, va a abrir, pero no va a cerrar.

El valor de tarado no deberá sobrepasar la presión de diseño ni la máxima de servicio del equipo. Los depósitos fijos de almacenamiento de gases licuados de petróleo, tanto aéreos como enterrados, cuyo volumen geométrico unitario supere los 20 m³, dispondrá al menos de dos válvulas de seguridad; de forma que la capacidad de descarga del conjunto (quedando una válvula en reserva) sea capaz de evacuar el caudal de descarga, que es el necesario para que la presión en el interior de los depósitos no llegue a sobrepasar en un 20% la presión de apertura de las mismas.

INSTALACIÓN.

Se conectan al elemento de alivio de presión; si el elemento a aliviar es un vapor o gas, está se coloca en la zona del vapor o gas (por encima del nivel del líquido) o a la tubería conectada a dicha zona.

Para efectuar regularmente el mantenimiento, sin necesidad de parar el proceso o dejar al equipo sin protección, se sugiere colocar varias válvulas de seguridad (como mínimo dos) en paralelo con sus correspondientes válvulas de cierre o bloqueo, de forma tal, que la válvula a inspeccionar se pueda cerrar y realizar las operaciones de mantenimiento.

Por esta razón, las válvulas de seguridad no bloqueadas tendrán entre todas ellas la capacidad de descarga necesaria para el equipo o sistema en el que están instaladas. De esta forma, además de conseguir la capacidad de alivio deseada, se obtiene un mayor nivel de seguridad al redundar en este importante elemento.

La conexión entre la válvula y el recipiente debe ser: robusta, corta, sin estrechamientos y con la mínima pérdida de presión entre el recipiente y la válvula (sin exceder el 3% de la presión de tarado).

La tubería de descarga o de escape debe ser: independiente, de, al menos dos metros, diseñada para alejar los gases evacuados de las válvulas; con el mínimo número de codos; de diámetro similar a la salida de la válvula (para evitar aumentos de presión por reducciones); apoyada de forma que no transmita esfuerzos ni

vibraciones a las válvulas; y, en el conjunto válvula / tubería tendrá un dispositivo para evacuación de aguas pluviales que evite el efecto de soplete sobre la pared del depósito.

La evacuación puede ser a la atmósfera, pero, en general se reducen riesgos cuando el material eliminado se maneja de modo que evite la contaminación del ambiente (enviando el desecho a combustión en un quemador elevado o de campo, a un sistema especial de evacuación, retomándolo al proceso, a un recipiente de venteos cerrado o a una fosa alejada 15 m como mínimo).

MANTENIMIENTO.

El correcto estado de una válvula se logra mediante inspección regular (dos veces al año), comprobación de funcionamiento y mantenimiento periódico; lo cuál permite verificar que los distintos elementos no presentan anomalías, o que su interior este limpio de acumulaciones de moho, incrustaciones o sustancias extrañas, etc.

¹ Pohanish, R. y Stanley, G., *Hazardous Substances Resource Guide*, p. 409.

² Kirk, R. y Othmer, D., *Enciclopedia de Tecnología Química*, p. 187.

³ Kirk, R. y Othmer, D., *Enciclopedia de Tecnología Química*, p. 187.

⁴ Una reacción de combustión es cuando la reacción de oxidación se verifica a gran velocidad y parte de la energía que se desprende toma la forma de luz.

⁵ NOM-CRP-003-ECOL/1993. Establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos.

⁶ Wath, D., *Chemical Safety Data Sheets*, p. 216.

⁷ Sittling, M., *Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens*, p. 1385-1386.

⁸ Manufacturing Chemists Association, *Guide of Safety in the Chemical Laboratory*, p. 420.

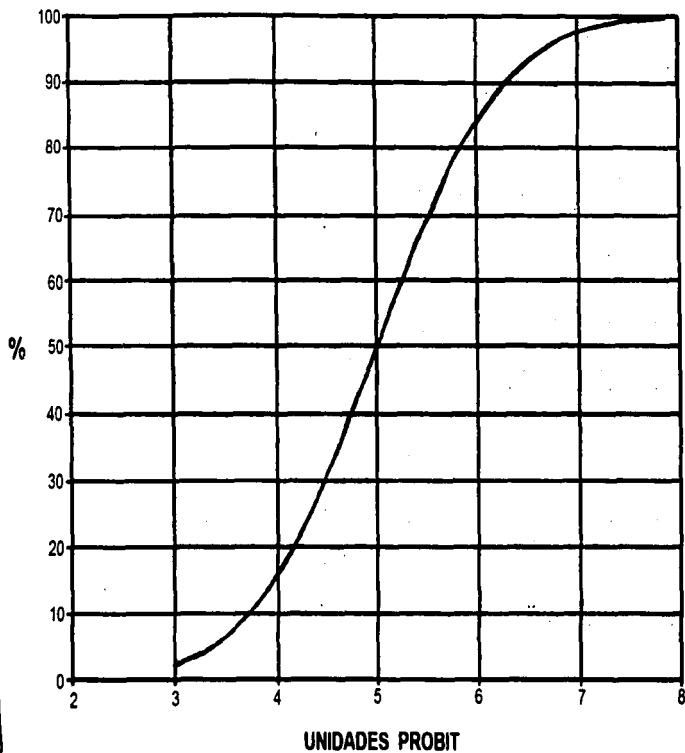
⁹ Lewis, R., *Six's Dangerous Properties of Industrial Materials*, p. 2904.

¹⁰ Parestesia. Alteración momentánea tono nervioso, es una sensación anormal que se produce en ausencia de un estímulo adecuado, por ejemplo: sensación de quemazón en ausencia de calor.

¹¹ Wath, D., Ob. Cit., p. 217.

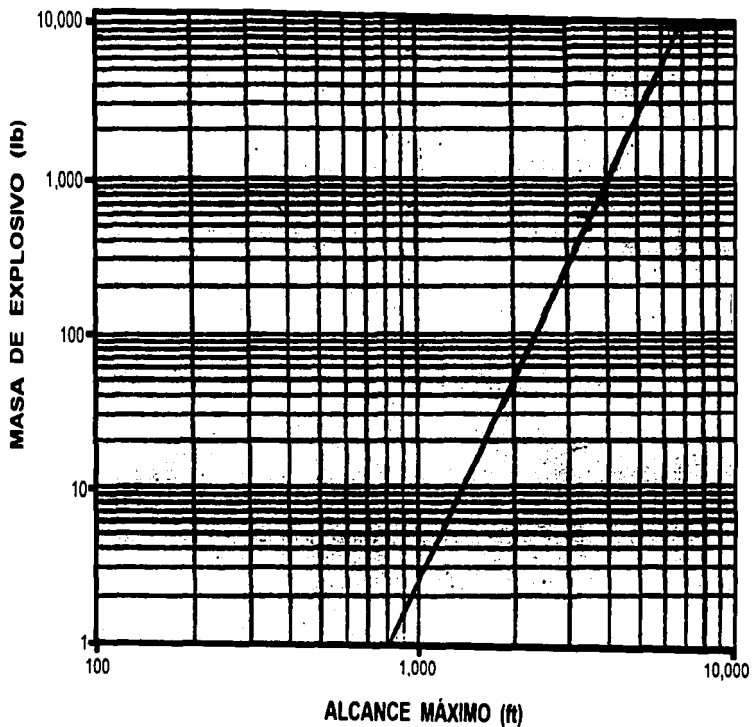
¹² *Ibidem*, p.215.

Figura 1: Escala Probit para determinar los daños a la población (%). (Tomado de la Ref. 16)



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

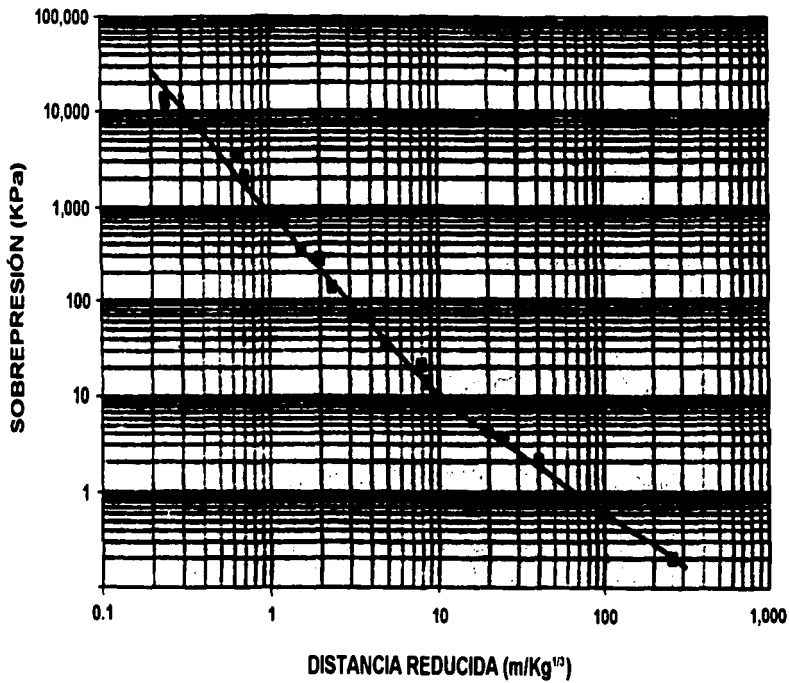
Figura 2: Alcance máximo horizontal de fragmentos originados a partir de una carga de TNT. (Tomado de la Ref. 16)

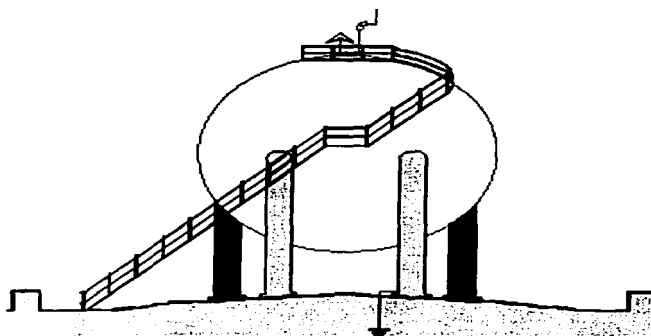


TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



Figura 3: Curva de sobrepresión (P_a) frente a la distancia reducida para la aplicación del modelo de TNT. (Tomado de la Ref. 16)





Bibliografía

BIBLIOGRAFIA

ARTÍCULOS.

1. **BERENBLUT, WHITEHOUSE, PHILLIPS Y SALTER.**
PEMEX the Forgotten Disaster
The Chemical Engineer
1985, Octubre, p. 16-22.
2. **BUTRÓN SILVA, A.**
Explosiones Debidas a Nubes de Vapor No Confinadas (U.V.C.E.)
Asociación Mexicana de Higiene y Seguridad, A. C.
1995, Agosto, p. 7-14.
3. **NAZARIO, F. N.**
Preventing or Surviving Explosions
Chemical Engineering
1988, Agosto 15, p. 102-109.
4. **PIETERSEN, C. y CENDEJAS, H.**
Analysis of the LPG Incident in San Juan Ixhuatpec, Mexico City, 19 November 1984
Reporte TNO, No. 85-0222, Holanda, Mayo 1985.

LIBROS.

5. **CENTER FOR CHEMICAL PROCESS SAFETY**
Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis.
American Institute of Chemical Engineers, E.U., 1992.
6. **DOMINGUEZ, B. Y SANCHEZ, M.**
Notas del Curso "Taller de Análisis de Riesgos"
Impartido por el Colegio Nacional de Ingenieros Químicos y de Químicos, A. C., Agosto de 2001.
7. **FELDER, RICHARD**
Principios Elementales de los Procesos Químicos
2 Edición, Addison Wesley Iberoamericana.
8. **KIRK, R. - OTHMER, D.**
Enciclopedia de Tecnología Química
Vol. 13. Hispano- Americana, México.
9. **LEWIS, R. J.**
Sax's Dangerous Properties of Industrial Materials.
8 Edición, Vol. 3. Van Nostrand Reinhold, E. U.

10. **MANUFACTURING CHEMISTS ASSOCIATION**
Guide of Safety in the Chemical Laboratory
2 Edición, Van Nostrand Reinhold Company, E. U.
11. **POHANISH, R. - STANLEY, G.**
Hazardous Substances Resource Guide
2 Edición
12. **SANTAMARIA RAMIRO, J.M.**
Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química.
2 Edición, MAPFRE, España, 1994.
13. **SETIQ, HOJA DE SEGURIDAD**
14. **SITTING, M.**
Handbook of Toxic and Hazardous Chemicals and Carcinogens.
3 Edición, Vol. 2 (G-Z), Noyes Publications., E. U.
15. **U.N.A.M., FACULTAD DE QUÍMICA**
Taller de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp"
México, Septiembre 2002
16. **WALSH, D.**
Chemical Safety Data Sheets
Royal Society of Chemistry, Vol. 5 Flammable Chemicals, 1992.

NORMAS Y MANUALES.

17. **I.N.E, S.E.M.A.R.N.A.P.**
Guía para la Elaboración del Estudio de Riesgo (Instalaciones en Operación)
I.N.E., Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas.
18. **NFPA**
Fire Protection Guide to Hazardous Materials, NFPA 49, 325M, 491M y 704
19. **NOM-CRP-003-ECOL/1993.**
20. **PEMEX, Gerencia de Proyectos y Construcción.**
Manual de Especificaciones Generales Bases para la Elaboración de Diagramas de Flujo
21. **PEMEX**
Manual del SIASPA
México, 1988.

PAGINAS WEB CONSULTADAS EN LA RED.

22. <http://www.preventionworld.com/>
23. <http://pemex.com/>