

00521
48



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA UNIDAD ATMOSFÉRICA
DE UNA PLANTA PRIMARIA DE LA
REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO" DE TULA, HIDALGO.**

**TESIS CON
FALTA DE ORIGEN**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

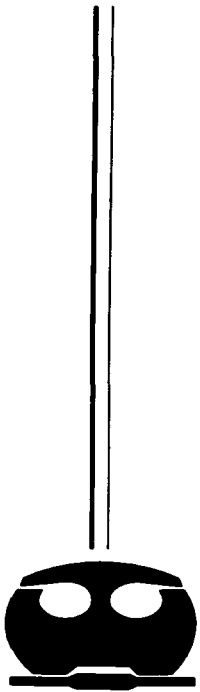
**P R E S E N T A :
JAVIER ESPINOSA AGUIRRE.**



**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA**

MÉXICO, D.F.

2003





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Prof. Eduardo Rojo y De Regil.
Vocal	Prof. Modesto Javier Cruz Gómez.
Secretario	Prof. Ezequiel Millán Velasco.
1er. Suplente	Prof. Néstor Noe López Castillo.
2º. Suplente	Prof. Baldomero Pérez Gabriel.

SITIO EN DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

*Refinería "Miguel Hidalgo",
Tula de Allende, Hidalgo.*

*Laboratorio E-212,
Edif. E de la Facultad de Química, UNAM.
México, D.F.*

Asesor



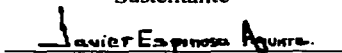
Dr. M. Javier Cruz Gómez.

Supervisor técnico



Ing. Sonia Monroy Caudillo.

Sustentante



Javier Espinosa Aguirre.

DEDICATORIAS

A Dios

Por haberme permitido alcanzar esta pequeña gran meta de mi vida, porque con tu ayuda y amor lo he logrado, porque tú pusiste en mi camino a los seres que hacen completa mi vida y por que sin ti yo no estaría en este lugar.

A mis padres

Isaías y María Eugenia por todo el amor y cariño que me han brindado durante todo este tiempo. Porque día a día me enseñaron lo que soy ahora y me dieron mas de lo que un hijo puede pedir. Gracias por dejarme venir a este mundo, por haberme enseñado el sendero para poder descubrir este mundo, con todo el esfuerzo sacrificio dedicación y cariño que les implico. Espero que siempre sepan que los adoro y que son los mejores padres del mundo.

A mi esposa Lilliana

Por ser la mitad que realmente me faltaba, por enseñarme lo que es el verdadero amor. Gracias por tu cariño incondicional, por hacerme feliz día a día, por apoyarme en todo momento e incluso en la realización de este trabajo, por darme mi otro gran amor, nuestro hijo Sebastián, y por todo el amor y cariño que me has brindado.

A mi hijo Sebastián

Por ser la pequeña parte de mí que me faltaba para completar mi gran felicidad, tu eres mi inspiración para seguir planteándome nuevas metas, las cuales estoy seguro que las lograre por ti. Doy gracias a dios por haberme mandado esta gran bendición; te amo hijo.

A mis hermanos

Maritza, Mónica, Hugo y Adriana, mis mejores amigos desde que nací, por que Dios me dio la dicha de tener a los mejores hermanos del mundo. Gracias por brindarme todo su amor, hermandad y amistad. Siempre tengo presente que con ustedes soy todo y sin ustedes no existo...Gracias por ser parte de mí. Los quiero mucho.

A mis tíos Constantino y Mariscolthy

Por haberme brindado su confianza, cariño, apoyo y amor toda vez que lo necesite, ya que sin ustedes no podría haber llegado a culminar este gran sueño. Gracias por su confianza que me dieron al llegar a su casa siendo yo casi un desconocido en su familia. Les estaré eternamente agradecido por este gran apoyo.

A mis primos

Gerardo, Laura, Eric, Mayela, Jazmín y Jessica, por su confianza y cariño. Gracias por hacerme sentir en su casa como un miembro mas de su hermosa familia.

A doña Irma Estrada

Por haberme dado su amor y apoyo, por hacerme sentir como un hijo más en su familia.

A mis suegros

Humberto y Judith. Por su gran apoyo incondicional, ya que sin él, mis sueños de formar una bonita familia no se podrían lograr. Gracias por ser como son.

A mis tíos Luis y Gela

Por su confianza, cariño y apoyo, toda vez que lo necesitamos mi esposa, mi hijo y yo.

A Chayo, Julio y Javiero

Por su amor de familia, gracias por su apoyo, gracias "topo" por ser un gran amigo, que digo amigo, un hermano. Porque se que siempre contaremos el uno con el otro, para siempre.

A mis tíos y abuelos
Los quiero mucho.

Compañeros del CEASP'A

Porque me enseñaron el cómo ser una mejor persona. por haberme dado su confianza, apoyo e invaluable consejos. Doy las gracias a todos en general.

A mis compañeros de proyecto

Braulio, Chucho, Alfredo, Abraham, Alejandro, Sonia, Felipe, Jessica, José de Jesús, Lalo, Hugo, Cristina, Rita, Marco, Eric. Gracias por su amistad y apoyo.

A todos los compañeros y amigos del Lab. 212 y Torre de Ingeniería

Gracias por su amistad.

A los Pachangos

Desde los viejos hasta los nuevos; Oscar, Conter, Sapo, Charon, Najera, Porfirio, Fernando, Esteban, Abel, Simón, Ramón, Claudia, Raúl, Manuel, Julián, Alex, Pipa, Julio, Manolo, Cueta, familia Reynal, familia del Pozo y si me faltó alguno no se valga sentir es que a veces tengo mala memoria. Los agradezco a todos su confianza y amistad, su apoyo moral y algunas veces económico.

A mis compañeros y amigos de la facultad

Gracias por su amistad y los buenos momentos; Keaton, Mariachi, Pash pelon, Hugo, Emilia, Jaimito, Juanathan, Fertofo, Itze, Flober, Bianca, Pash, Alejandra, Victor, estos son algunos de los que me acuerdo ahorita, si no los menciono discúlpenme es que ya me urge mandar a imprimir la tesis y no me acuerdo de todos. En si a toda la banda de la Facultad de Química que formaron parte de mi vida y todos y cada uno de ustedes sabe que lugar ocupa en mí...

A el grupo 15 de la generación 98 de la facultad de química

Benji, Liliana, Victor, Chilapa, Gabriel, Juan, Jenny, Fabiola, Karina, cesar, Luis, Alejandro, Salvador, gracias por su amistad, por todos los momentos que vivimos juntos en los salones, laboratorios, en los pasillos, en la pecera; nunca los olvidare.

A todos mis amigos de la Prepa

Pelón, Chango, Pinacho, Pollo, Noe, Gracias por su amistad.

A la banda

Noño, Ramiro, Sony, Facio, Casitas; Pipa; Juan Diego, Leonel, Cano; Bull, Socio, Paco, Enrique, y toda la demas banda; Los del taller, la paletaría, el molino, la vox, etc.

AGRADECIMIENTOS

Al **Dr. Javier Cruz Gomez** por darme la oportunidad de realizar la presente tesis profesional y por darme la confianza de formar parte de su equipo de trabajo.

De antemano quiero agradecer al **Prof. Eduardo Rojo y De Regil**, al **Prof. Ezequiel Millán Velasco**, al **Prof. Néstor Noe López Castillo** y al **Prof. Baldomero Pérez Gabriel**, les agradezco haberme dedicado su tiempo, compartido sus experiencias y por hacerme sus recomendaciones para realización de la presente tesis.

Gracias **Ing. Sonia Monroy Caudillo** por ser mi asesor técnico, y por que siempre te dabas el tiempo y esfuerzo para ayudar a corregir y sacar adelante este trabajo.

Gracias al **Ing. Filemon Cervantes Rodríguez** y al **Ing. Gabriel Kurt Lato** por su valioso tiempo, apoyo, recomendaciones y correcciones para poder sacar adelante y mejorar este trabajo.

Al **Ing. Jesús Sánchez Vieyra** y a la **Ing. Jessica Torres Domínguez** por su apoyo y consejos en la realización de la presente tesis.

Gracias a **PEMEX** y en particular al **Refinería Miguel Hidalgo**, por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.

A todos mis **profesores** de la facultad, por compartir su valioso tiempo, conocimientos y experiencias, para contribuir a formarme profesional y personalmente.

Y por supuesto gracias a la **Universidad Nacional Autónoma de México** por darme la oportunidad de pertenecer a esta mi Alma Mater, pues la quiero, la respeto y jamás olvidare. Agradezco en especial a mi **Facultad de Química**, que me dio todo, desde mis amigos hasta mi profesión, gracias porque hicieron posible que llegara este día y por hacer esta etapa de mi vida inolvidable. Gracias.

**ÍNDICE DE CONTENIDO**

Tema	PÁGINA
Capítulo I	
INTRODUCCIÓN	2
1.1 Objetivos.	4
1.2 Justificación.	4
Capítulo II	
DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS	11
II.1 Antecedentes.	11
II.2 Conceptos básicos.	13
II.2.1 Peligro.	13
II.2.2 Riesgo.	13
II.2.3 Análisis de Riesgo.	14
II.2.3.1 Evaluación del riesgo.	16
II.2.3.2 Gerencia del riesgo.	16
II.2.3.3 Desarrollo de estudios de análisis de riesgos.	17
II.2.3.3.1 Caracterización de la Empresa.	17
II.2.3.3.2 Aspectos fisiográficos.	17
II.2.3.3.3 Características metereológicas.	17
II.2.3.3.4 Características de las instalaciones.	17
II.2.3.3.5 Identificación de peligros.	18
II.2.4 Estimación de las consecuencias.	18
II.2.5 Estimativa de frecuencias.	18
II.2.6 Estimación de riesgos.	19
II.2.7 Consideraciones generales.	20
II.2.8 Clasificación de los accidentes químicos.	21
II.2.9 Seguridad Industrial en PEMEX.	22
II.3 Técnicas para efectuar el análisis de riesgos.	23
II.3.1 Clasificación.	23
II.3.2 Objetivo.	24
II.3.3 Alcance.	24
II.3.4 Métodos de Identificación de Riesgos.	25
II.3.4.1 Códigos y Normas de Seguridad.	25

	PÁGINA
II.3.4.2 Revisiones de Seguridad.	27
II.3.4.3 Lista de Verificación (<i>CheckList</i>)	28
II.3.4.4 Análisis histórico de accidentes	29
II.3.4.5 Índices <i>Dow/Mond.</i>	30
II.3.4.6 Análisis ¿Que pasaría sí?	31
II.3.4.7 Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad-FMECA	33
II.3.4.8 Análisis Preliminar de Riesgos.	34
II.3.4.9 Análisis de Error Humano	35
II.3.4.10 Análisis Árbol de Eventos (Event-Tree)	36
II.3.4.11 Análisis de Riesgos y Operabilidad, HAZOP	37
II.3.4.11.1 Concepto.	37
II.3.4.11.2 Definiciones para el HAZOP.	38
II.3.4.11.3 Proceso de Trabajo.	39
II.3.4.11.3.1 Definición del Propósito, los Objetivos y el Alcance del Estudio.	39
II.3.4.11.3.2 Selección del Equipo HAZOP.	39
II.3.4.11.3.3 Preparación de Sesiones.	40
II.3.4.11.3.4 Convocatoria de Sesiones.	41
II.3.4.11.4 Software.	41
II.3.4.11.5 Nodalización de la Instalación o proceso.	41
II.3.4.11.6 Reuniones del Análisis HAZOP.	42
II.3.4.11.7 Documentación del HAZOP.	42
II.3.4.11.8 Resultados esperados del Análisis.	43
II.3.4.12 Análisis de árbol de fallas.	43
II.3.4.12.1 Concepto de Método de Árbol de Fallas.	43
II.3.4.12.2 Componentes de un Árbol de Fallas.	44
II.3.4.12.3 Simbología para Árbol de Fallas.	45
II.3.4.12.3.1 Símbolos de Computas.	45
II.3.4.12.3.2 Símbolos de los Eventos.	46
II.3.4.12.4 Metodología para el Análisis.	47
II.3.4.12.4.1 Definición del Problema.	47
II.3.4.12.4.2 Evento tope.	48
II.3.4.12.4.3 Construcción del Árbol de Fallas.	48



	PÁGINA
II.3.4.12.4.4 Evaluación de Árbol de Fallas.	49
II.3.4.12.4.5 Evaluación Cualitativa.	50
II.3.4.12.4.6 Algoritmo de Identificación de un CMC.	50
II.3.4.12.4.7 Evaluación Cuantitativa.	51
II.3.4.12.4.8 Análisis de Sensibilidad.	51
II.3.4.12.4.9 Documentación del Análisis de Árbol de Fallas.	52
II.3.4.12.6 Ventajas y Limitaciones del Método de Análisis de Árbol de Fallas.	52
II.3.4.13 Análisis de consecuencias.	52
II.3.3.13.1 Objetivos.	52
II.3.4.13.1.1 Selección de eventos indeseables a analizar.	53
II.3.4.13.1.2 Especificación de los escenarios.	53
II.3.4.13.1.3 Determinación de la mecánica de liberación o exposición del material.	54
II.3.4.13.1.4 Determinación de la dispersión del material.	54
II.3.4.13.1.5 Cuantificación de las consecuencias sobre el entorno.	54
II.3.4.13.1.6 Emisión de recomendaciones.	55
II.3.4.13.1.7 Documentación del Análisis de Consecuencias.	55
II.3.4.13.2 Cuantificación de los Efectos: Modelos de Accidentes.	55
II.3.4.13.2.1 Tipos de eventos	57
II.3.4.13.3 Cuantificación de los Daños: Modelos de Vulnerabilidad.	59
II.3.5 Usos del análisis de riesgos.	60
II.3.6 Selección de las técnicas de análisis	61
II.3.7 Importancia del análisis de riesgos y peligros	62
Capítulo III.	
DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PRIMARIA	65
III.1 Generalidades de la refinación	65
III.2 Condiciones de operación extremas en los procesos de refinación del petróleo	66
III.3 Tipos de petróleo	68
III.4 Descripción de la empresa	70
III.4.1 Capacidad de refinación	72
III.4.2 Proceso de Refinación	73
III.5 Datos de proceso y actualización de diagramas	74



	PÁGINA
III.6 Unidad de destilación atmosférica de una planta primaria	76
III.6.1 Descripción del proceso	76
III.6.2 Variables del proceso	81
III.6.2.1 Trenes de precalentamiento y desalado de crudo	81
III.6.2.2 Despunte de crudo	81
III.6.2.3 Calentamiento de crudo	82
III.6.2.4 Destilación atmosférica y agotamiento	82
III.6.3 Descripción del flujo	82
III.6.3.1 Trenes de precalentamiento	82
III.6.3.2 Desalado de crudo	83
III.6.3.3 Torres de despunte A-DA-1 y A-DA-2	85
III.6.3.4 Calentadores de crudo A-BA-1 y A-BA-2	86
III.6.3.5 Torre atmosférica A-DA-3	88
III.6.3.5 Torres agotadoras A-DA-4, A-DA-5 y A-DA-6	90
Capítulo IV.	
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y RECOMENDACIONES	93
IV.1 Resultados	93
IV.1.1 Comparación de las diferentes técnicas de análisis de riesgos	93
IV.1.2 Criterio de selección de las técnicas de análisis	96
IV.1.3 Metodología empleada para el estudio de riesgos en la planta primaria	97
IV.2 Evaluación de los niveles de riesgos con la técnica HAZOP	98
IV.2.2 Nodos seleccionados para el estudio	102
IV.2.3 Recomendaciones	120
IV.2.4 Lista de buenas practicas de operación que se originaron del estudio HAZOP	121
IV.3 Análisis de árbol de fallas	122
IV.3.1 Elaboración del árbol de fallas	122
IV.4 Resultados del análisis de consecuencias	127
IV.4.1 Consideraciones para el estudio	128
4.4.2 Eventos seleccionados	130
IV.4.3 Graficas de las consecuencias por fuga de la bomba A-GA-8/8R	131
IV.4.4 Conclusiones del análisis de consecuencias	134



	PÁGINA
Capítulo V	
CONCLUSIONES GENERALES	136
APÉNDICES	138
Apéndice A	139
Apéndice B	134
Apéndice C	149
Apéndice D	154
BIBLIOGRAFÍA	161

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Grandes Accidentes Industriales	6
Tabla 2. Compañías reconocidas en el ámbito internacional que cuentan con sistemas administrativos similares al SIASPA	9
Tabla 3. Metodologías a utilizar en cada etapa del ingeniería de proyecto	25
Tabla 4. Códigos y Normas Internacionales y Nacionales	26
Tabla 5. Palabras Guía para localizar desviaciones o causas	39
Tabla 6. Reglas del Álgebra <i>Booleana</i> para la Evaluación de Árbol de Fallas.	50
Tabla 7. Estimación del Alcance de Magnitudes Físicas Peligrosas	60
Tabla 8. Criterios para seleccionar la técnica de análisis	62
Tabla 9. Clasificación del petróleo	68
Tabla 10. Diagramas de una planta primaria	76
Tabla 11. Técnicas contra etapas de Ingeniería	93
Tabla 12. Técnica contra Alcance y Resultados	94
Tabla 13. Técnicas contra Disponibilidad de Herramientas	95
Tabla 14. Técnicas contra Objetivo	96
Tabla 15. Tabla de Frecuencias	99
Tabla 16. Tabla de Gravedades	100
Tabla 17. Clases de Riesgo	101
Tabla 18. Nodos de las modificaciones de la unidad atmosférica de la planta primaria a los que se les aplico la técnica HAZOP	102



Tabla 19. Recomendaciones jerarquizadas resultantes del análisis de riesgos HAZOP realizado a modificaciones implementadas en la unidad atmosférica de la planta primaria	120
Tabla 20. Estabilidad de Pasquill	129
Tabla 21. Niveles de radiación	129
Tabla 22. Niveles de sobrepresión	129

ÍNDICE DE FIGURAS

PAGINA

Figura I. Etapas de Estudio de Análisis de Riesgos	20
Figura II. Índice de accidentes en PEMEX de 1996-2001	23
Figura III. Tabla Típica de Resultados del Análisis HazOp	43
Figura IV. Representación grafica de árbol de fallas	45
Figura V. Símbolos de algunas compuertas y su significado	46
Figura VI. Simbología de Eventos	47
Figura VII. Compuertas Lógicas	49
Figura VIII. Comportamiento de una Fuga.	57
Figura IX. Metodología de Análisis de Riesgos	61
Figura X. Diagrama de bloques de la sección atmosférica de una planta primaria	77
Figura XI. Matriz de riesgos	101
Figura XII. Matriz de Clases de Riesgo	101
Figura XIII. Radiación vs distancia a favor del viento, para el dardo de fuego	131
Figura XIV. Explosión tardía por sobrepresión (bar) vs distancia a favor del viento	132
Figura XV. Radios de radiación del dardo de fuego, distancia en contra viento vs distancia a favor del viento	132
Figura XVI. Huella de la nube por la fuga por sellos, ancho de la nube (m) vs distancia a favor del viento (m).	133
Figura XVII. Vista lateral de la fuga por sellos, altura de la nube (m) vs distancia a favor del viento(m).	133

**LISTA DE ABREVIATURAS.**

AAE	Análisis de Árbol de Eventos.
AAF	Análisis de Árbol de Fallas.
AC	Análisis de Consecuencias.
API	<i>American Petroleum Institute.</i>
APR	Análisis Preliminar de Riesgos.
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers.</i>
ASTM	<i>American Society for Testing Materials.</i>
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion.</i> Explosión por Expansión del Vapor de un Líquido en Ebullición.
CMC	Conjuntos Mínimos de Corte.
DICA	Departamento de Instrumentación y Control Automático.
DMC	Daño Máximo Catastrófico.
DMP	Daño Máximo Probable
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación.
EAR	Estudios de Análisis de Riesgo.
ETA	<i>Event Tree Analysis (Ver AAE).</i>
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis.</i> Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad.
FTA	<i>Fault Tree Analysis (Ver AAF).</i>
GLN	Gas Licuado Natural.
GLP	Gas Licuado de Petróleo.
GOLP	Gasoleo Ligero de Petróleo.
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies.</i> Análisis de Riesgos y Operabilidad.
IDLH	<i>Immediately Dangerous for Life or Health.</i>
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad.
NFPA	<i>National Fire Protection Association.</i>
PHA	<i>Preliminary hazard Analysis.</i>
PHAST	<i>Process Hazard Analysis Safety Tool.</i>
SIASPA	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección



	Ambiental.
SICOLAB	Sistema de Control de Laboratorio.
TCDD	<i>Tetrachloridibenzo-p-dioxin.</i>
TLV	<i>Threshold Limit Values.</i> <i>Valores Límites Umbrales</i>
TNT	Tri-Nitro Tolueno.
OSHA	administración de la seguridad y salud ocupacional
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
SEMARNAP	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
PRONAPAARA	Programa Nacional de Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental
PROFEPA	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente

GLOSARIO

- Accidente:** Evento no premeditado aunque muchas veces previsible, que se presenta en forma súbita, altera el curso regular de los acontecimientos, lesiona o causa la muerte a las personas y ocasiona daños en sus bienes y entorno.
- Accidente Químico:** Liberación accidental de sustancias químicas peligrosas ocurrida durante su producción, transporte o manejo.
- Amenaza:** Probabilidad de que ocurra un fenómeno potencialmente dañino dentro de un área y período de tiempo dado. **Análisis de vulnerabilidad:** Proceso para determinar el valor arriesgado y la susceptibilidad de los bienes expuestos a una amenaza específica.
- Análisis de Riesgos:** Es la identificación y evaluación sistemática de objetos de riesgo y peligros.
- Atmósfera explosiva:** Mezcla constituida por aire y gases, vapores, nieblas o polvos inflamables bajo condiciones atmosféricas, en proporciones tales que una temperatura excesiva, arcos, o chispas produzcan su explosión (existe un peligro real).
- BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion):** El contenedor se fractura en liberación de energía rápida y violenta, acompañada de expulsión de gases a la atmósfera pudiendo incendiarse, en una bola de fuego y propulsando el contenedor o fracciones del mismo.
- Bomba:** Un dispositivo que convierte fuerza mecánica en potencia hidráulica.
- Causas:** Son las razones por las que se pueden producir desviaciones, es decir es lo que hace que un incidente ocurra.
- Convulsión:** Formación de una bolsa o burbuja de aire o vapor debido a una reducción en la presión de un fluido. El picado o el desgaste de la superficie es el resultado del colapso de la burbuja de vapor. La



cavitación puede ocurrir en los sistemas hidráulicos como resultado de bajos niveles de aceite jalando aire hacia el sistema, produciendo pequeñas burbujas que se expanden explosivamente en la salida de la bomba, causando erosión del metal y ocasionalmente destrucción de la bomba.

- Daño:** Es la consecuencia producida por un peligro sobre la calidad de vida individual o colectiva de las personas.
- Desastre:** Una interrupción seria en el funcionamiento de una sociedad causando vastas pérdidas a nivel humano, material o ambiental, suficientes para que la sociedad afectada no pueda salir adelante por sus propios medios.
- Desviación:** Son desfases de la intención de diseño (Flujo, Presión, Temperatura, Reacción, Nivel, etc.) que se descubren mediante la aplicación sistemática de las palabras guía.
- Efecto Encadenado:** Es la consecuencia inevitable, pero indirecta de otro accidente o circunstancia.
- Electricidad Estática:** La electricidad estática se genera por contacto y separación de materiales disímiles. Los principales riesgos de la electricidad estática son los incendios y las explosiones provocadas por descarga de chispas que contienen energía suficiente como para encender cualquier vapor, gas o polvo inflamable.
- Emergencia:** Situación o serie de circunstancias irregulares que se producen de manera súbita e imprevista, que puede originar daños a las personas, propiedad y/o ambiente y que demandan acción inmediata para minimizar sus consecuencias. Toda aquella situación de fuga, derrame, incendio la cual no puede ser controlada por la persona que lo detecta necesitando el auxilio superior o apoyo de personal especializado.
- Escenario de Riesgo:** Determinación de un evento hipotético en el cual se toma en consideración la ocurrencia de un accidente bajo condiciones determinadas, definiendo mediante la aplicación de modelos matemáticos y criterios acordes a las características de los procesos y/o materiales, las zonas potencialmente afectadas.
- Estimación de Riesgos:** El proceso mediante el cual se determina la frecuencia o probabilidad y las consecuencias que puedan derivarse de la materialización de un peligro.
- Evaluación de Riesgos:** Proceso mediante el cual se obtiene la información necesaria para que la organización esté en condiciones de tomar una decisión apropiada sobre la oportunidad de adoptar acciones preventivas y, en tal caso, sobre el tipo de acciones que deben adoptarse.
- Fuente de Ignición:** Fuegos abiertos, material incandescente expuesto, arco de soldadura eléctrica, lámparas no aprobadas o cualquier chispa o llama producida por cualquier medio.
- Gravedad:** Son las consecuencias de daño que puede tener un incidente dentro de la Planta, su nivel se asigna con ayuda del equipo multidisciplinario.
- Incidente:** Suceso del que no se producen daños o estos no son significativos, pero que ponen de manifiesto la existencia de riesgos derivados del trabajo. Cualquier suceso no esperado ni deseado, que no dando lugar a pérdidas de la salud o lesiones a las personas, pueda ocasionar daños a la propiedad, equipos, productos o al medio ambiente, pérdidas de la producción o aumento de las responsabilidades legales.



Inflamable: Materiales con punto de evaporación inferior a 61° C (141.6 ° F). Es cualquier líquido que tenga punto de inflamación menor de 38° C y una presión de vapor no superior a 2.8 Kg/cm² (a 38° C), según la National Fire Protection Association (NFPA).

Límites de inflamabilidad: Los líquidos inflamables tienen una concentración mínima de vapor en el aire, por debajo de la cual no se produce la propagación de la llama en contacto con una fuente de ignición. Este es el límite inferior de inflamabilidad (LII). Existe también una proporción máxima de vapor o gas en el aire, por sobre la cual no se produce la propagación de la llama. Este es el límite superior de inflamabilidad (LSI).

Mantenimiento Predictivo: Un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, utilizando técnicas no destructivas, como análisis de vibración, termografía y análisis de rebabas de desgaste.

Mantenimiento Preventivo: Acciones de mantenimiento desarrolladas sobre la base de un calendario o programa fijo que involucran reparaciones de rutina y reemplazo de componentes y partes de la maquinaria.

Mantenimiento Proactivo: Un tipo de Mantenimiento basado en aquellas condiciones que enfatizan la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Dichas causas de falla como alta contaminación de lubricante, alineación y balanceo son tal vez las más críticas.

Mezcla Explosiva: Es la mezcla de un comburente (producto oxidante) y de un combustible (producto oxidable) en proporciones tales que puedan dar lugar a una reacción de oxidación muy rápida y muy viva, liberando más energía de la que se disipa por conducción y convección. El comburente puede ser un gas (el oxígeno del aire), un líquido (peróxido) o un sólido (clorato, nitrato, etc.). El combustible puede ser un gas (hidrógeno, vapores de gasolina, etc.), un líquido (disolvente) o un sólido (azufre, madera, etc.). Todas las materias orgánicas son combustibles.

Modelo: Representación simplificada o esquemática de un evento del proceso con el propósito de facilitar su comprensión o análisis.

Nodo: Es la subdivisión de un sistema de proceso, éste se puede identificar por el cambio de propiedades, en su origen comienzan nuevas propiedades del material y en su destino nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y suficientemente grande para que sea significativo.

Peligro: Situación de riesgo inminente que puede producir un daño o un deterioro en la calidad de vida individual o colectiva de las personas. Fuente o situación con capacidad de daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o una combinación de ambos.

Prevención: Técnica de actuación sobre los peligros con el fin de suprimirlos y evitar sus consecuencias perjudiciales. Suele englobar también el término protección. Conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de la actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.



- Probabilidad:** Predicción calculada de la ocurrencia de un accidente en un cierto periodo de tiempo y se expresa en fracciones de entre 0 y 1.
- Protecciones:** Son todas las acciones o medidas que se toman dentro del sistema de estudio para mitigar o reducir la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente.
- Punto de Ebullición:** Temperatura a la cual un líquido cambia su estado a vapor.
- Punto de inflamación:** Es la temperatura máxima a la cual un líquido emite un vapor, en concentración suficiente como para formar con el aire una mezcla inflamable cerca de la superficie del líquido, dentro de un recipiente especificado, según procedimientos de prueba e instrumentos apropiados. El peligro relativo aumenta a medida que baja el punto de inflamación. Cuando se le calienta a su punto de inflamación (o sobre ese punto) cualquier líquido combustible producirá vapores inflamables.
- Recomendaciones:** Son todas las acciones o medidas que se pueden implementar para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente.
- Riesgo:** En el contexto de la Prevención de Riesgos debemos entenderlo como la probabilidad de que ante un determinado peligro se produzca un cierto daño, pudiendo por ello cuantificarse. Combinación de la frecuencia o probabilidad y de las consecuencias que pueden derivarse de la materialización de un peligro.
- Siniestro:** Suceso del que se derivan daños significativos a las personas o bienes, o deterioro del proceso de producción.
- Tóxico:** Son aquellos materiales cuya emisión o liberación al ambiente puede causar daños a la salud de los seres humanos, o a cualquier forma de vida.
- Vulnerabilidad:** Facilidad con la que un sistema puede cambiar su estado normal a uno de desastre, por los impactos de una calamidad.
- Zona de peligro:** Entorno espacio-temporal, en el cual las personas o los bienes se encuentran en peligro.

PAGINACIÓN DISCONTINUA

Capitulo I



Introducción



**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Facultad de Química





Capítulo I INTRODUCCIÓN

La seguridad en las plantas de proceso químico se ha convertido en un asunto de gran importancia a medida que estas son más grandes, eficientes y complejas. El constante incremento de costos del equipo y las primas de seguros, así como la responsabilidad que implica el descontrol de las enormes energías contenidas en los procesos químicos o de las materias primas que se manejan, han incrementado el ímpetu de la industria hacia los objetivos de la prevención de riesgos, compartida por todos.

La presencia de energía física de presión, calor y movimiento, el desarrollo de energías a través de reacciones químicas y la forma en que estas pueden ser activadas en los procesos químicos, se conocen desde la revolución industrial, sin embargo continúan ocurriendo accidentes catastróficos debido a que no se identifican los riesgos.

Estudiando los sucesos catastróficos ocurridos en los procesos químicos, es verdaderamente difícil encontrar un sistema de análisis formal de seguridad, aplicado antes del incidente, que de la probabilidad de ocurrencia del suceso. Esto es significativo, considerando la proporción de incidentes que ocurren constantemente en la industria, no debido a desconocimiento de los potenciales cinéticos y termodinámicos destructivos, si no por la falta de confiabilidad de sistemas instalados para contar con una seguridad adecuada contra la ocurrencia de estos accidentes.

Existen varias industrias de proceso que por su naturaleza manejan grandes inventarios de sustancias inflamables, explosivas o tóxicas, o bien presentan condiciones de operación extremas (temperatura y presiones muy altas o muy bajas). Estas industrias se consideran altamente peligrosas ya que potencialmente pueden ocurrir incendios, explosiones o dispersión de sustancias químicas tóxicas capaces de causar daños a los trabajadores, a la comunidad, al medio ambiente y a las mismas instalaciones.

Entre las industrias más peligrosas están:

- Producción de productos petroquímicos y de refinación.
- Producción de productos químicos.
- Almacenamiento y transportación de gas licuado de petróleo (LPG).
- Almacenes y centros de distribución de productos químicos.
- Grandes almacenes de fertilizantes.
- Fabricas de explosivos.
- Fabricas en que se utiliza cloro en grandes cantidades.



La industria de refinación del petróleo ha experimentado una gran expansión y múltiples cambios desde 1950, incremento en el tamaño de las unidades de proceso, nuevos procesos catalíticos, demandas variables de productos y nuevas variedades de petróleo han hecho de la tecnología y economía actual del petróleo una ciencia muy compleja, sofisticada y de muy alto riesgo. Provocando que la industria química, de refinación y petroquímica de todo el mundo desarrolle una política mas adecuada, en el corto plazo, para disminuir los riesgos, mediante el desarrollo de nuevos productos, tecnologías y procesos, así como mediante la prevención y control de riesgos usando técnicas mas especializadas de identificación, evaluación de riesgos, mejora de los sistemas administrativos y de ingeniería.

La prevención y la lucha contra los riesgos mayores ha pasado a ser una cuestión apremiante en todas las partes del mundo. Las posibilidades potenciales de que se produzca un accidente importante debido al aumento de la producción, el almacenamiento y el empleo de sustancias peligrosas implican la necesidad de un enfoque bien determinado y sistemático, si se quieren evitar grandes catástrofes.¹

Los riesgos no se pueden prevenir con un simple sistema de calidad; por ejemplo la norma ISO no atiende asuntos técnicos detallados o controles financieros. Es necesario desarrollar instrucciones de trabajo para el análisis de riesgo y complementar las áreas de administración de calidad antes mencionadas. Las técnicas estadísticas, como se establecen en la norma, parecen difíciles de aplicar al análisis de riesgos y la mayoría de los analistas de riesgo que buscan la certificación solicitan una exención en esta área.

Todos los sistemas de calidad se reducen a: di lo que haces; haz lo que dices; registra lo que has hecho; aprende de tus errores.

El actual crecimiento de la economía mundial demanda cada vez el uso de mayor cantidad de energía y el petróleo es la fuente o generador más importante de ella. Esta fuente de energía es la más utilizada, ya que cubre alrededor del 70% del consumo mundial. Debido a las restricciones impuestas para la protección ambiental, la tendencia actual y futura es el uso de combustibles cada vez más limpios y fuentes alternas de energía. Sin embargo, actualmente los aspectos económicos relacionados con los aspectos ambientales restringen su pleno desarrollo.

1. Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos: Un reto para el siglo XXI. Método de evaluación de riesgos en accidentes químicos Por: Jesús Zagal, México DF., Diciembre 1996.



PEMEX es la empresa más grande de México y una de las diez más grandes del mundo, tanto en términos de activos como de ingresos. Con base en el nivel de reservas y su capacidad de extracción y refinación, se encuentra entre las cinco compañías petroleras más importantes a nivel mundial. Las actividades de PEMEX abarcan la exploración y explotación de hidrocarburos, así como la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos y petroquímicos. La economía nacional ha dado un giro gracias a que PEMEX, a través de sus alianzas con la industria, se ha posicionado como palanca del desarrollo nacional generando altos índices de empleo. Su tecnología de vanguardia le ha permitido aumentar sus reservas y reconfigurar su plataforma de exportación, vendiendo al exterior crudo de mayor calidad y valor, además de ser autosuficiente en gas natural. Abastece materias primas, productos y servicios de altísima calidad a precios competitivos y cuenta con una industria petroquímica moderna y en crecimiento. PEMEX es una empresa limpia y segura, comprometida con el medio ambiente, su alta rentabilidad y moderno régimen fiscal le ha permitido seguir siendo un importante contribuyente al erario público, cuyos recursos se utilizan en beneficio del país.

1.1 OBJETIVOS

Este trabajo es parte del proyecto FQ-371-2002 en convenio de colaboración de la UNAM (Facultad de Química) con PEMEX-refinación. Debido a la gran relevancia que tiene el análisis de riesgos para la prevención, mitigación y eliminación de accidentes industriales, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

- Describir las técnicas de análisis de riesgos.
- Describir el proceso de la Unidad Atmosférica de la planta primaria, así como su importancia en la industria química.
- Aplicar las técnicas de análisis de riesgos para así identificar y evaluar los riesgos potenciales en las modificaciones realizadas en líneas y equipos de la unidad atmosférica de la planta primaria.
- Analizar los resultados encontrados del análisis de riesgos de la sección mencionada y dar algunas recomendaciones.

1.2 JUSTIFICACIÓN

¿Hay algo que sea en verdad seguro?... No, no hay nada que ofrezca completa seguridad. Hasta las situaciones que parecen más seguras encierran ciertos riesgos que bajo circunstancias extremas, como un terremoto o un incendio, pudieran transformarse en peligrosas. Por lo tanto, cualquier producto, actividad o procedimiento, por muy seguro que parezca, puede fallar.



Las personas no tenemos el mismo concepto sobre la seguridad, aunque generalmente todos consideramos que algo es seguro si creemos que los riesgos asociados son aceptables. Posiblemente las áreas de más controversia para exigir pautas de comportamiento basadas en la evaluación de riesgos son las que se refieren a las exposiciones ambientales. Es innegable que en el medio empresarial se ha avanzado en materia de seguridad industrial con un mejor control de los riesgos del trabajo, pero los indicadores estadísticos más recientes dejan también claro que se deberá incrementar notablemente el trabajo en esta área y adoptar una nueva filosofía y métodos más actualizados para reducir esos "Errores Administrativos" que se llaman Accidentes, para prevenir realmente los riesgos del trabajo e incrementar la productividad y calidad tanto de los productos como de los servicios.

A través de los años se han utilizado muchos índices para medir la seguridad, además que una gran variedad de indicadores para medir los incendios y otras pérdidas de propiedad, se han desarrollado la mayoría de las técnicas de medición en el pasado han tenido una cosa en común: han sido "reactivas" y orientadas hacia las consecuencias de la administración de un programa en lugar de ser "proactivas" (antes de la pérdida). En otras palabras, es mejor "medir lo que se hace para prevenir en lugar de medir lo que ya ocurrió".

No hay duda de que estas mediciones continuarán sirviendo en el futuro, sin embargo los expertos en Seguridad Industrial reconocen que son muy inadecuadas. Existe claramente una necesidad de indicadores adicionales que sean predictivos, es decir, que permitan a los directivos identificar deficiencias específicas que puedan ser corregidas o controladas antes de que los accidentes y pérdidas ocurran.

La **Excelencia en Seguridad** de una empresa se alcanza cuando una gran variedad de factores que intervienen en el proceso productivo se lleva a cabo correctamente, sin errores, lo que da lugar a una operación integral con calidad y altamente productiva.

Por ello se hace necesario que la Seguridad comprenda no solamente la prevención y control de las lesiones y enfermedades ocupacionales, sino también del daño a la propiedad, a la población civil, al medio ambiente y a la ecología.

Para lograr **Cero Accidentes** y la Excelencia en Seguridad se debe tener primero un proceso en el que sus peligros estén identificados y controlados mediante buenos programas de capacitación y adiestramiento, un alto sentido de responsabilidad de toda la administración de la empresa y sus operarios, un equipo en buenas condiciones de operación y un **sistema de acciones preventivas** ejecutadas por cada integrante de la organización donde su cumplimiento sea reconocido y estimulado permanentemente.

Un riesgo no se puede medir con precisión, pero sí puede ser estimado con suficiente aproximación. El análisis de riesgos es un intento para ponderar y comparar estimativamente las consecuencias de un

accidente contra la probabilidad de que ocurra. La probabilidad y consecuencias de un accidente se reducen si el peligro, en sus causas y efectos está identificado. Son importantes también, los estudios sobre las consecuencias de un accidente con los efectos encadenados que se pueden producir.

Hoy en día, debido a la gran demanda de bienes de consumo por parte de la población, la industria ha ido creciendo de una manera constante para cubrir dichas necesidades. Como es lógico, este crecimiento tanto en número de industrias como en la capacidad de éstas, ha provocado un aumento en el número de personas (dentro de las plantas de proceso y entre el público en general), que en un momento dado estén expuestas a las consecuencias de un accidente industrial.

Debido a los accidentes de gran magnitud ocurridos hasta nuestros días en la industria química (ver tabla 1), la población en general considera que la industrial química es de alto riesgo.

SITIO	SUSTANCIA INVOLUCRADA	ACCIDENTE	CONSECUENCIAS
Bhopal, India, 1984	Isocianato de Metilo.	Escape del gas venenoso, en una planta de Union Carbide.	2500 muertes directas
San Juan Ixhuatepec, México, 1984	Gas L.P.	Hacen explosión varios contenedores de Gas LP.	650 muertes y 2500 heridos.
Guadalajara Jalisco, México, 1992	Combustible	Explosiones a lo largo de una red de alcantarillado urbano debido a vertidos de gasolina en el mismo.	200 muertes y 2500 heridos
Camping de Los Alfaques, San Carlos de la Rápia, España, 1978	Propileno.	Explosión de una pipa con 39 Ton. al chocar con una pared.	250 muertes.
Cubatão, Brasil, 1974	Gasolina	Fuga de gasolina de un oleoducto dando origen a una esfera de fuego.	500 muertes.
Seveso, Italia, 1976	Ciclohexano	Fuga de 80 toneladas de ciclohexano que dan lugar a una explosión de gran magnitud.	28 muertes y cientos de heridos.

Tabla 1. Grandes Accidentes Industriales.²

2. Santamaría Ramiro, J.M. y Braña Aisa, P.A. Análisis de Riesgos en la Industria Química. Capítulo II, Fundación MAPFRE, España, 1994.



De acuerdo a lo anterior no es de extrañarse el creciente esfuerzo que la industria en general, en particular la química, ha venido realizando para la prevención de accidentes. Dentro de esta última categoría tenemos a Petróleos Mexicanos (PEMEX), quien busca ser una de las empresas líderes en materia de seguridad industrial y de protección ambiental, no ha escatimado esfuerzos y recursos para lograr que sus instalaciones sean más seguras y que el impacto ambiental que provocan sea el mínimo posible. Para lograr este objetivo PEMEX ha venido implantando un programa denominado SIASPA (Sistema Integral para la Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental) que ha cumplido con los estándares internacionales de calidad, seguridad, protección al ambiente y a proporcionado facilidad en su comprensión y manejo; pero esto no salió de la nada, fue necesario estudiar, de empresas petroleras internacionales (EXXON, BRITISH PETROLEUM, SHELL, CONOCO, Etc.) y por los requerimientos para la administración de la seguridad y salud ocupacional (OSHA) del departamento de los Estados Unidos; al igual que de sistemas utilizados en compañías internacionales líderes en seguridad y protección al ambiente, viéndose así los requerimientos que se necesitaban para adaptarse a esta empresa mexicana.

El objetivo del SIASPA es mejorar el desempeño en materia de Seguridad y Protección Ambiental en el corto y largo plazo e integrar su administración efectiva a la cultura de PEMEX, de manera consistente con la política institucional sobre Seguridad Industrial y Protección Ambiental.

Con la implementación del SIASPA se tiene contempladas mejoras en todos los aspectos de la organización, hablando desde lo administrativo hasta lo operacional. Dado que era necesario contar con este sistema, se elaboró una lista general de los posibles beneficios contemplados mencionando los siguientes.

- Mejoras en productividad y utilización de activos.
- Reducción de costos producidos por un mal desempeño de seguridad y protección ambiental.
- Reducción de incidentes y accidentes (por E), lesiones/enfermedades, impacto ambiental).
- Mejor desempeño ambiental.
- Mayor motivación en los empleados.
- Mejores relaciones con la comunidad y entidades gubernamentales.
- Mayor valor a la empresa.
- Mejores niveles de salud de los trabajadores.
- Mejor imagen de PEMEX.

El SIASPA fue elaborado por personal especializado de la misma compañía y como consecuencia se desarrollaron manuales que conllevaran a implementar mejoras continuas en todos los aspectos.



El SIASPA se compone de 18 elementos que están perfectamente relacionados con el factor humano, de igual manera con las metodologías de trabajo y con las instalaciones.

Los elementos que están relacionados con el factor humano son:

1. Política, liderazgo y compromiso
2. Organización
3. Capacitación
4. Salud ocupacional
5. Análisis y difusión de incidentes y buenas prácticas
6. Control de contratistas
7. Relaciones públicas y con las comunidades

Los que están relacionados con las metodologías de trabajo son:

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

y por último los que están relacionados con las instalaciones son:

16. Planes y respuesta a emergencias
17. Integridad mecánica
18. Control y restauración

Si se toman como referencia los sistemas de seguridad de otras compañías internacionales, el SIASPA es similar en algunos aspectos y que ayudará a que se cumpla con las normas internacionales (Tabla 2). Con esto se persigue el objetivo común que es el de controlar los riesgos de las operaciones para poder realizar en forma segura y exitosa, programas de seguridad, salud, protección ambiental y administración de toda la información generada en la refinería. También agregando que se pueden intercambiar experiencias de acuerdo a incidentes y accidentes ocurridos en la implementación de estos programas.



<p>PETROLÉOS MEXICANOS</p> <p>SIASPA</p> <p>SISTEMA INTEGRAL DE ADMINISTRACIÓN DE LA SEGURIDAD Y LA PROTECCIÓN AMBIENTAL</p>	<p>SHELL</p> <p>SEMP</p> <p>SAFETY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT PROGRAM</p>	<p>BRITISH PETROLEUM USA</p> <p>OIAS</p> <p>OPERATIONAL INTEGRITY ASSURANCE SYSTEM</p>	<p>EXXON</p> <p>OIMS</p> <p>OPERATIONS INTEGRITY MANAGEMENT SYSTEM</p>	<p>CONOCO</p> <p>SHEA</p> <p>SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENTAL ADMINISTRATION</p>
<ol style="list-style-type: none"> 1. Política, liderazgo y compromiso. 2. Organización. 3. Capacitación. 4. Salud ocupacional. 5. Análisis y difusión de incidentes y buenas prácticas. 6. Control de contratistas. 7. Relaciones públicas y con las comunidades. 8. Planeación y presupuesto. 9. Normalidad. 10. Administración de la información. 11. Tecnología de procesos. 12. Análisis de riesgos. 13. Administración del cambio. 14. Indicadores de desempeño. 15. Auditorías. 16. Planes y respuesta a emergencias. 17. Integridad mecánica. 18. Control y restauración. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aspectos generales. 2. Información ambiental y de seguridad. 3. Análisis de riesgos. 4. Dirección del cambio. 5. Procedimientos de operación. 6. Prácticas de trabajo seguro. 7. Entrenamiento. 8. Garantía de la calidad e integridad mecánica. 9. Examen del pre-arraque. 10. Control y respuesta a emergencias. 11. Investigación de incidentes. 12. Auditoría y revisión del SEMA. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Liderazgo, compromisos y responsabilidades. 2. Valuación y manejo de los riesgos. 3. Diseño y construcción de las instalaciones. 4. Operación y mantenimiento. 5. Administración del cambio. 6. Información y documentación. 7. Personal y entrenamiento. 8. Trabajando con contratistas y terceros. 9. Investigación y análisis de incidentes. 10. Concientización de la comunidad y planes de Emergencia. 11. Valuación y mejoramiento de la integridad de las operaciones. 12. Clientes y productos. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Liderazgo, compromiso y responsabilidad. 2. Valuación y administración de riesgos. 3. Diseño y construcción de instalaciones. 4. Documentación e información. 5. Personal y entrenamiento. 6. Operación y mantenimiento. 7. Administración del cambio. 8. Servicios de terceros. 9. Análisis e investigación de incidentes. 10. Concientización comunal y planes de emergencia. 11. Valuación y mejoramiento de la integridad de las operaciones. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visión. 2. Liderazgo y compromiso. 3. Política. 4. Objetiva y metas. 5. Planeación estratégica. 6. Organización y personal. 7. Efectos / aspectos de evaluación. 8. Valuación y manejo de riesgos. 9. Programas y practicas de operación. 10. Planes de emergencia. 11. Entrenamiento y competencia. 12. Documentación. 13. Monitoreo. 14. Auditorías. 15. Valuación de la dirección.

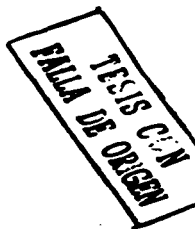
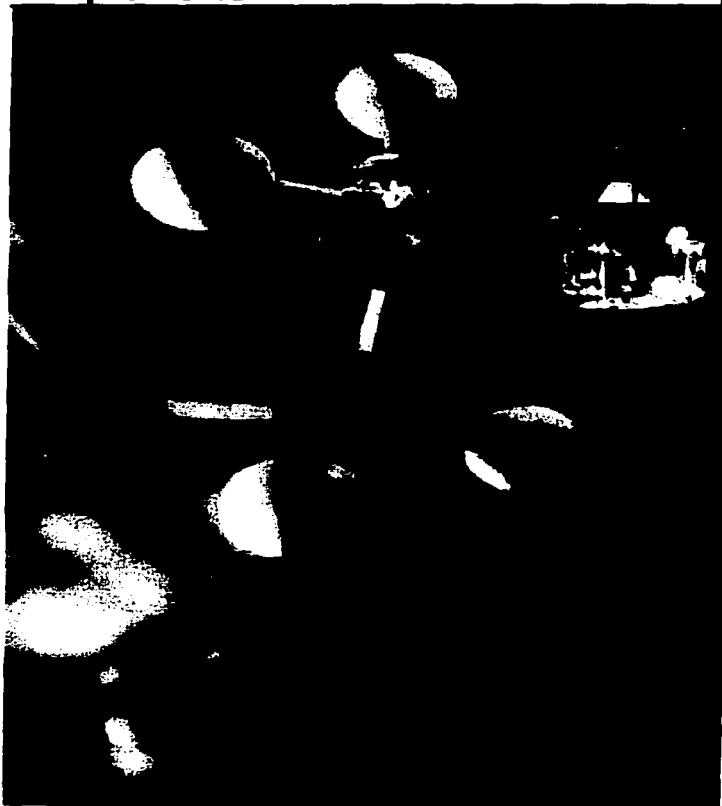
Tabla 2. Compañías reconocidas en el ámbito internacional que cuentan con sistemas administrativos similares al SIASPA.

PEMEX con el fin de cumplir con los puntos del SIASPA, en especial el punto 12 y 13 relacionados con el análisis de riesgos, en conjunto con la UNAM (Facultad de Química), llevó a cabo el proyecto denominado "Análisis de Riesgos en la unidad atmosférica de la planta primaria 2 de la Refinería Miguel Hidalgo" en Tula de Allende, Hidalgo. Para llevar cabo dicho proyecto se asigno personal especializado en análisis de riesgos de la UNAM, así como personal de PEMEX que labora en el área de estudio de la Refinería.

Capitulo II



Descripción
de las
técnicas de
análisis de
riesgos



Facultad de Química





Capítulo II DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

II.1 Antecedentes

La trascendencia del riesgo en la administración de un proceso químico se enfoca a formas de análisis dirigidas a la protección civil y laboral (sociedad), ambiental (ecología) y económica (industria). Dicho análisis es efectuado para realizar una evaluación de riesgos para determinar su magnitud y significado del peligro al que está expuesto el proceso y más propiamente dicho la planta y la comunidad aledaña. Este consiste en estudiar la probabilidad de que se genere un impacto en la sociedad, ecología e industria.

El análisis de riesgos cubre esencialmente dos tipos de actividades: *la evaluación de los riesgos y la administración de los riesgos*. La primera esta enfocada a determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento que genere un accidente y determinar en cuanto valoran las personas involucradas en el proceso industrial las situaciones alternativas que involucren diferentes niveles de riesgo. La segunda se refiere a las políticas externas e internas de la planta, que tiene por objetivo la reducción de riesgos a los cuales se exponen los seres humanos principalmente; además realizan estudios de riesgo-beneficio.¹

Por ejemplo, los estados de la republica Mexicana con mayor concentración industrial como el Distrito Federal, Estado de México, Jalisco, Puebla y Veracruz, han sido de las entidades federativas más afectadas por accidentes químicos, lo cual coincide con la densidad industrial en esas entidades. Con mayor frecuencia, los accidentes han ocurrido al interior de las instalaciones industriales. Los datos citados provienen de un estudio realizado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) con el propósito de establecer una base de datos al respecto. El CENAPRED esta integrado al Programa Nacional de Protección Civil, de la Secretaría de Gobernación, y cuenta con un grupo dedicado a realizar estudios y proporcionar capacitación en relación con riesgos químicos.²

El Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, que deriva de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), contiene disposiciones relativas a la obligación que tienen las empresas, que manejen sustancias altamente riesgosas, de realizar análisis de riesgos para definir y establecer medidas para prevenir accidentes y desarrollar acciones de prevención y combate en caso de accidentes.³

1 <http://semarnat.gob.mx/>

2 <http://cenapred.com/>

3 <http://semarnat.gob.mx/>



El Instituto Nacional de Ecología, a partir de 1992, implanta un Programa Nacional de Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental (PRONAPAARA) y Comités Ciudadanos de Información y Apoyo para Casos de Prevención y Atención de Riesgo Ambiental con el propósito de promover la participación ciudadana en acciones para prevenir y reducir riesgos. Las empresas, por su parte, han establecido programas específicos para la atención de accidentes al interior de las plantas de producción así como al liberar sustancias al exterior.⁴

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), promueve el desarrollo de programas voluntarios de auditorías ambientales, que también contribuyen a reducir los riesgos de accidentes.⁵

El desarrollo de la legislación, en materia de ambiente, higiene y seguridad, obliga cada vez más a los ingenieros y empresas a involucrarse con las exigencias legales para el diseño de instalaciones y procesos. Las condiciones de trabajo han cambiado en las plantas y áreas industriales; sin embargo, con la cooperación de empresas y empleados responsables, al igual que con la aceptación de una filosofía que predique la prevención de accidentes de la misma forma como lo hacen con respecto a producción, costos, calidad y moral, las áreas de trabajo pueden transformarse en sitios seguros y saludables.

La necesidad de aplicar controles más efectivos en las operaciones, para garantizar la seguridad del personal y a la población aledaña, la integridad de los equipos y la eficiente continuidad de los procesos, ha resultado en la adopción de la sana práctica de preparar procedimientos de trabajo, especialmente para aquellas operaciones consideradas críticas por su alto nivel de riesgo. Por ello, la Ley de Prevención de Riesgos Laborales (LPRL), para proteger la salud y seguridad de los trabajadores, obliga al empresario a eliminar los riesgos, evaluar aquellos que no se pueden eliminar y adoptar las medidas de prevención necesarias.

Las normas internacionales como la API RP 750 del Instituto Americano del Petróleo (API) y PSM 29 CFR 1910.119 (Process Safety Management) como parte integral de la OSHA, exigen la realización de análisis de riesgos en los procesos de muchas instalaciones, el cual es un estudio organizado para identificar las deficiencias del diseño y la operación de un proceso, que pueden ocasionar serias consecuencias, como lesiones al personal, daños al equipo, daños al proceso, daños a la planta en general, etc.⁶

4 <http://ine.gob.mx/>

5 Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Subprocuraduría de Auditoría Ambiental. Ing. Enrique S. Ortiz Espinosa. Abril de 2002. México.

<http://www.profeva.gob.mx/sna/aud/a27.htm>

6. Sandler; Perdock; Mc Edowney; Leverenz. Making Process Safety of Sustaining Performance in the 21st Century. <http://google.com>



Según la normatividad antes mencionada, la institución debe tener un sistema de respuesta y resolución inmediata a las recomendaciones presentadas por el equipo de análisis de riesgos. La respuesta de la gerencia a las recomendaciones del equipo debe ser comunicada al personal afectado y el seguimiento de las recomendaciones aceptadas por la gerencia debe ser documentado. Además se requiere de una estricta planificación, ejecución y documentación, para asegurar su validez.

II.2. Conceptos básicos

Un estudio de análisis de riesgo debe tener como objetivo principal el de responder a las siguientes preguntas:

- ¿Qué puede fallar?
- ¿Cuáles son las causas básicas de los eventos no deseados (accidentes)?
- ¿Cuáles son las consecuencias?
- ¿Cuál es la frecuencia con la que pueden ocurrir dichos eventos no deseados (accidentes)?
- ¿Son los riesgos tolerables?

Un mejor entendimiento del *Análisis de Riesgos* precisa de la introducción de algunos conceptos básicos.

II.2.1 Peligro

Una o más condiciones físicas o químicas inherentes a las sustancias o procesos, con posibilidad de causar daños a las personas, a la propiedad y/o al ambiente, que no puede controlarse o reducirse. Con otras palabras, el peligro es la condición para que un daño se produzca.⁷

II.2.2 Riesgo

Medida de la pérdida económica y/o de daños para la vida humana, resultante de la combinación entre la frecuencia de la ocurrencia y la magnitud de las pérdidas o daños (consecuencias) a los sistemas, a personas, al medio ambiente o a la propiedad, es decir, el riesgo es la manera de indicar la posibilidad de que un daño se produzca.⁷

El riesgo está siempre asociado a la factibilidad de que ocurra un evento no deseado. Por otro lado, el riesgo siempre puede ser gerenciado, actuando en la frecuencia de ocurrencia, en las consecuencias o en ambas.⁸

7. Santamaría Ramiro, J.M. y Braña Aisa, P.A. *Análisis de Riesgos en la Industria Química*. Capítulo II, Fundación MAPFRE, España, 1994.
8. Santamaría *ibidem*



A partir de la definición de riesgo, se establecen dos tipos principales de riesgo:

- El riesgo de seguridad que consiste en determinar la probabilidad de que se produzca un riesgo mecánico, eléctrico o químico (incendio, explosión, liberación de una sustancia tóxica) y que estos, puedan afectar a una persona que se encuentre en el área de peligro.
- El riesgo económico que consiste en determinar la probabilidad de que se produzca una interrupción del servicio y sus consecuencias económicas, sociales y ambientales. Las consecuencias catastróficas se pueden traducir en las pérdidas económicas las cuales incluyen los costos por:
 - Restauración del medio ambiente.
 - Daños a la propiedad.
 - Pérdida de prestigio o imagen pública.
 - Pérdida de utilidades ocasionada por la suspensión del transporte.
 - Pérdidas de producto.
 - Responsabilidad jurídica por pérdidas humanas o daño ambiental.

II.2.3 Análisis de riesgos⁹

Se define como *análisis de riesgos* a la técnica sistemática que se aplica para identificar peligros o riesgos potenciales en un proceso y para asegurar que se especifiquen medidas para su eliminación y control; como sistema, involucra a la organización en la prevención efectiva de accidentes y eventos de pérdida.

Del análisis de riesgos se obtiene información sobre los peligros y riesgos que no han podido eliminarse así como de las medidas preventivas más adecuadas que deberían adoptarse y que deben ser implementadas en el proceso industrial que se está analizando.

Para ello se organizan *equipos multidisciplinarios*, conformados por expertos analistas en diversas áreas de un proceso o planta determinada, necesarios para llevar adelante las actividades preventivas. Las funciones que realiza el equipo multidisciplinario son: brindar el apoyo técnico al personal de la planta industrial, promover la gestión integrada de la prevención de incidentes en la planta, evaluar los riesgos, para vigilar el ambiente y las condiciones de trabajo, vigilar la salud de los trabajadores, mantener registros de datos ambientales y sanitarios, así como proporcionar formación e información.

⁹ En el presente trabajo la palabra riesgos, engloba los conceptos de riesgos y peligros, pero cuando se hable de riesgo y peligro singularmente se referirá a cada término por separado, esto es con el fin de no ser repetitivo y confundir al lector.



Los analistas recopilan toda la información para elaborar una lista de peligros que es necesario valorar, el personal evaluador junto con el personal autorizado de la planta, discuten y determinan: la magnitud del riesgo de los peligros enlistados, las medidas de prevención con que cuenta la planta o debe adoptar en cada caso y los pasos para su implementación. La acción preventiva debe ser eficaz, para ello es necesario adaptarla continuamente al proceso o planta, debido a que cualquier modificación de las condiciones de trabajo debe llevar a cabo un nuevo proceso, total o parcial, de evaluación y planificación.

La evaluación de los riesgos también sirve para diseñar estrategias de prevención de riesgos para la salud humana, estableciendo los límites de concentración de tóxicos en la fuente emisora¹⁰ los cuales no se deben de exceder, para que la población posiblemente receptora no este expuesta a un peligro extremo. Este dato es una restricción a considerar en el diseño del proceso.

Cuando se esta trabajando en el diseño de procesos o de productos es necesario simular la contaminación que se producirá. Se necesita conocer la toxicidad de las sustancias involucradas en el proceso y el comportamiento de los desechos en el medio ambiente. Se necesita simular el transporte y destino de las sustancias, estimando cual podría ser la permanencia de los desechos en el ambiente, a que medios podría emigrar y los riesgos que significarían estas sustancias para las poblaciones que fueran afectadas. Orientar los esfuerzos para evitar la contaminación es, por sentido común, más conveniente que esperar a que esta se produzca y entonces tratar de eliminarla.

Las técnicas que integran el análisis de peligros y riesgos, han sido desarrolladas por diversas compañías e instituciones para su aplicación. Haciendo uso de los métodos apropiados se podrán analizar diversos aspectos de riesgo, se podrá evaluar su magnitud y su probabilidad y se guiará el grupo de análisis a encontrar sistemáticamente las medidas preventivas o contingentes que eliminen, minimicen o controlen el riesgo. Todas las técnicas aplicadas oportunamente en el proyecto de una nueva planta, van a influir con alta prioridad en las decisiones más importantes sobre su diseño e instalación, reduciéndose las pérdidas económicas en un futuro.

Existen varias técnicas o procedimientos para efectuar los análisis de peligros y riesgos potenciales en cualquier tipo de industria. Y todas coinciden en cuatro etapas generales para elaborarlo de manera secuencial y así lograr resultados exitosos. Entre ellas están: identificar los peligros, analizar sus consecuencias, cuantificar los riesgos y finalmente tomar las decisiones para reducir la probabilidad de ocurrencia de los riesgos que se podrán generar.¹¹ A continuación se describe cada etapa:

10. Determinados por la NOM-018-STPS-2000 (Sistemas para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo).

11. Santamaría. *ibidem*.



1. **Identificar los peligros:** Mediante la experiencia que se tenga de un proceso determinado, se pueden cuestionar todas las circunstancias que den lugar a un accidente, ya sea que se produzcan de manera inminente o que tengan la probabilidad de producirse. Esta parte debe hacerse de manera exhaustiva para evitar olvidar situaciones que pongan en riesgo el proceso o la planta.
2. **Analizar las consecuencias:** Se determinará el efecto con la causa que lo origina de manera que los riesgos se puedan cuantificar; se describe el escenario con las condiciones y los factores externos que estén involucrados, como el tiempo de respuesta de los operadores al detectar el accidente o desviación, la cercanía de los equipos y líneas de proceso con el área en riesgo o la operabilidad inadecuada del proceso, entre otros.
3. **Cuantificar los riesgos:** Mediante las herramientas estadísticas de frecuencia y/o probabilidad, que se pueden traducir en términos económicos, se pueden cuantificar los eventos que se produzcan en función del tiempo, como los riesgos que se den en 5 años o a lo largo de la vida útil de la planta. Así se podrá determinar la prioridad de la acción para mitigar la ocurrencia de los riesgos de acuerdo a su gravedad y frecuencia.
4. **Tomar decisiones para reducir los riesgos:** después de que se tiene identificado el peligro y clasificado el riesgo, se debe tomar la decisión que implica estimar la magnitud de las consecuencias que pueden derivarse de un accidente y de la probabilidad de que se lleve a cabo. Aquí se deben proponer las recomendaciones para eliminar el posible riesgo o reducir su origen.

II.2.3.1 Evaluación del riesgo

Es el proceso que utiliza los resultados del análisis de riesgos para tomar decisiones con relación al manejo del riesgo, a través de la comparación de los criterios previamente establecidos en la tolerancia del riesgo.

II.2.3.2 Gerencia del riesgo

Es la formulación e implantación de medidas y procedimientos tanto técnicos y administrativos, que tienen como finalidad prevenir, controlar o reducir los riesgos existentes en una instalación industrial, teniendo como objetivo, mantener esa instalación operando dentro de los requisitos de seguridad considerados tolerables.



II.2.3.3 Desarrollo de estudios de análisis de riesgos

De forma general, un estudio de análisis de riesgos así como también un estudio de impacto ambiental (el cual no se contempla en este estudio) puede ser dividido en las etapas siguientes:

II.2.3.3.1 Caracterización de la empresa

La caracterización de la empresa y de la región tiene por finalidad, analizar en forma detallada las características físicas de la empresa identificando y caracterizando las diferentes áreas que están bajo influencia y de las interferencias en la empresa.

II.2.3.3.2 Aspectos fisiográficos

- Ubicación de la empresa.
- Cuerpos de agua, etc.
- Estimación y caracterización del tipo y del número de habitantes.
- Sistemas viales.

II.1.3.3.3 Características Meteorológicas

- Temperatura.
- Índices pluviométricos.
- Humedad relativa del aire.
- Velocidad y dirección de los vientos.

II.1.3.3.4 Características de las instalaciones

- Disposición física (*layout*).
- Especificaciones de los equipos.
- Descripción de las operaciones y de los procedimientos de seguridad.
- Identificación y caracterización de las fuentes de ignición.
- Sustancias involucradas y sus características fisicoquímicas y toxicológicas.
- Condiciones de almacenamiento.
- Diagramas de tubería e instrumentación y de flujo de proceso.



- Instrumentos.
- Datos operacionales.
- Presión, Caudal.
- Sistemas de Seguridad.

II.2.3.3.5 Identificación de peligros

Esta etapa tiene por objetivo identificar 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. Por tanto, deben emplearse técnicas específicas para la identificación de los peligros, entre las cuales es importante mencionar: Listas de verificación (*Checklists*); Análisis "¿Qué pasa si...?" (*What if...?*); Análisis Preliminar de Riesgos (APR); Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA); Estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP - Hazard and Operability Study), etc. los cuales serán abordados más adelante.

II.2.4 Estimación de las Consecuencias

Tomando como base las hipótesis de accidentes identificados en la etapa anterior, cada una de éstas debe ser estudiada en cuanto a sus posibles consecuencias, además de medirse los impactos y daños causados por esas consecuencias.

Se deberán utilizar modelos de cálculos que representen los posibles efectos resultantes de los tipos de accidentes, como:

- Radiaciones térmicas de incendios.
- Sobrepresiones causadas por explosiones.
- Concentraciones tóxicas resultantes de emisiones de gases y vapores.

Los resultados de esta estimación deberán servir de base para el análisis del ambiente vulnerable en las instalaciones estudiadas. Normalmente, esos análisis se realizan considerando los daños a las personas e inmuebles expuestos a esos impactos.

II.2.5 Estimativa de frecuencias

Para elaborar los estudios cuantitativos de análisis de riesgos, se requiere la estimación de las frecuencias en que ocurren los accidentes en los equipos relacionados con las instalaciones o actividades



en donde se está realizando el análisis. De la misma manera, la estimación de probabilidad de errores del hombre, muchas veces debe ser cuantificada en el cálculo de riesgo, aun que estos datos normalmente son difíciles de estimarse, debido a la no-disponibilidad de estudios de ese tipo.

Para el cálculo de las frecuencias de los escenarios de accidentes, se pueden utilizar, entre otras, las siguientes técnicas:

- Análisis histórico de los accidentes.
- Análisis del árbol de fallas (AAF).
- Análisis de árboles de eventos (AAE).

En determinados estudios, los factores externos de la empresa pueden contribuir a incrementar el riesgo de una instalación. En esos casos, se debe considerar también la probabilidad o frecuencia de que ocurran eventos no deseables causados por terceros o por agentes externos al sistema en estudio, incluyéndose los fenómenos naturales y sabotajes.

Con relación al ser humano, los datos de confiabilidad o de probabilidades de fallas, deben utilizarse con mucha cautela porque existen muchos factores que influyen en este proceso, tales como:

- Distracción.
- Condiciones ambientales.
- Características de los sistemas involucrados.
- Tipos de actividades u operaciones realizadas.
- Capacitación de las personas involucradas.
- Motivación.
- Disponibilidad de normas de calidad y procedimientos operacionales.
- Tiempo disponible para la ejecución de tareas.
- Personal molesto.
- Abuso de alguna sustancia.
- Fatiga del personal por exceso de trabajo.

Un factor que se debe considerar en el análisis del error humano durante la realización de una determinada operación, son los errores de mantenimiento, a causa de los cuales ocurre casi del 60 al 80% de los accidentes mayores que involucran al error humano.

II.2.6 Estimación de Riesgos

La estimación de riesgos se realiza a través de la combinación de las frecuencias de que ocurran las hipótesis de accidentes y la gravedad de sus respectivas consecuencias. Se puede expresar el riesgo de



diferentes formas, de acuerdo con el objetivo del estudio en cuestión. Generalmente, los riesgos se expresan de la siguiente forma:

- Índices de riesgo.
- Riesgo social.
- Riesgo individual.

II.2.7 Consideraciones generales

Además se debe aclarar que esas técnicas pasaron a ser ampliamente empleadas para evaluar otros tipos de riesgos. Los estudios de análisis de riesgos, que se pueden realizar con diferentes finalidades, deben ser considerados como instrumentos importantes de gestión y planeamiento. Sin ellos, muchas empresas podrían no estar conscientes de la importancia de los problemas resultantes de accidentes y enfrentar así riesgos muy elevados que podrían ocasionar daños algunas veces irreparables para la comunidad o el ambiente y perjudicar significativa y aún irreversiblemente su imagen y sobrevivencia.

De esta forma, es necesario dar al asunto la importancia que requiere e implantar estudios y programas específicos que contemplen adecuadamente el manejo de los riesgos existentes al desarrollar las actividades peligrosas. En la Figura I, se muestran las etapas de un Estudio de Análisis de Riesgos.

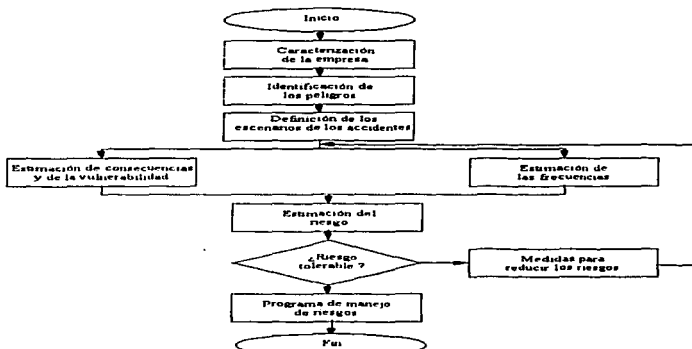


Figura I. Etapas de Estudio de Análisis de Riesgos.



II.2.8 Clasificación de los accidentes químicos

Desde la perspectiva de salud, existen varias maneras de clasificar los *accidentes químicos*, de las cuales ninguna es completa o mutuamente excluyente. Por ejemplo, la clasificación podría basarse en: las sustancias químicas involucradas, la cantidad, la forma física, dónde y cómo ocurrió la fuga, las fuentes de liberación, la extensión del área contaminada, el número de personas expuestas, las vías de exposición y las consecuencias en la salud relacionadas con la exposición. Algunas consideraciones son necesarias para aclarar esta clasificación y se presentan a continuación:

- **Fuentes de la liberación:** Las liberaciones pueden originarse por la actividad humana o tener un origen natural, es decir pueden ser antropogénicas o naturales. Entre las antropogénicas se incluyen: manufactura, almacenamiento, manipulación, transporte (ferrocarril, carretera, agua y tuberías), uso y eliminación. Entre las fuentes de origen natural se incluyen la actividad volcánica, incendios y toxinas de origen animal, vegetal o microbiano.
- **Extensión del área contaminada:** Los accidentes pueden clasificarse de acuerdo a si: fueron delimitados al área de una instalación y que no afectaron a nadie en el exterior, afectaron únicamente la vecindad inmediata de una planta, afectaron una zona extensa alrededor de la instalación o si se dispersaron mucho.
- **Número de personas expuestas:** Los accidentes podrán clasificarse por el número de personas afectadas, calculado en términos de muertes, lesionados y/o evacuados.
- **Vías de exposición:** Desde la perspectiva de salud, las vías de exposición podrían ser un medio para clasificar los accidentes químicos. Existen cuatro vías principales: inhalación, exposición ocular, contacto con la piel e ingestión. Ninguna de estas vías es mutuamente excluyente.
- **Consecuencias para la salud:** Los accidentes químicos pueden ser clasificados también según las consecuencias médicas o para la salud, o en función del sistema u órgano afectado. Ejemplos de éstos serían los accidentes que causan efectos carcinogénicos, teratogénicos, dermatológicos, inmunológicos, hepáticos, neurológicos, pulmonares u otros.

Las sustancias involucradas en un accidente pueden agruparse de acuerdo a si son:

- **Sustancias peligrosas:** por ejemplo explosivas, líquidos o sólidos inflamables, agentes oxidantes, sustancias tóxicas o corrosivas.
- **Aditivos, contaminantes y adulterantes:** por ejemplo en el agua potable, bebidas o alimentos, medicamentos y bienes de consumo.
- **Productos radioactivos:** que no son considerados en esta presentación.

La cantidad de la sustancia química liberada y sus propiedades tóxicas deberían también ser consideradas.



II.2.9 Seguridad Industrial en PEMEX¹²

Petróleos Mexicanos ha incorporado la seguridad industrial como parte esencial de su política empresarial; Se ha comprometido, por medio de su política de seguridad y protección ambiental, a administrar los riesgos inherentes a sus actividades para proteger la seguridad de sus empleados, de sus instalaciones y de las comunidades cercanas a sus centros de trabajo.

Las acciones derivadas de los sistemas de administración de la seguridad adoptados en PEMEX han permitido ejercer un control más estricto, disminuyendo los accidentes y logrando operaciones más seguras. Así mismo, desde 1998 se ha fortalecido el sistema de información de accidentes, lo que permite un mejor seguimiento del comportamiento de los Índices de accidentalidad.

PEMEX ha logrado avances en el fortalecimiento de la seguridad industrial, según lo reflejan las tendencias a la baja de los índices de frecuencia y gravedad de los accidentes en los últimos 6 años. Para el año 2001 se reportan los siguientes resultados:

- El Índice de frecuencia de PEMEX en su conjunto disminuyó 17% con respecto al año 2000, al pasar de 1.19 a 1.00, mientras que el Índice de gravedad disminuyó 38% con respecto al año anterior, pasando de 170 a 106.
- Estas cifras muestran una disminución sustancial, ya que únicamente se presentó un accidente incapacitante por poco más de un millón de horas laboradas (1,007,561 horas-hombre), lo que representa un aumento del 20% de horas laboradas por cada accidente incapacitante con respecto al 2000.
- Petróleos Mexicanos realiza análisis técnicos de cada accidente, a fin de determinar su causa raíz, así como todos los elementos que ayuden a identificar las condiciones en las cuales ocurrieron, a fin de tomar las medidas para evitar su repetición.

PEMEX cumple con la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, en lo que se refiere a la Normatividad Oficial Mexicana. Por facultad de la misma Ley, debe emitir Normas de Referencia para la adquisición, arrendamiento y contratación de bienes y servicios.

En octubre de 1998 se creó el Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios el cual, en el 2001, estableció 19 Normas de Referencia, así como 46 proyectos de normas que entraron en vigor en el 2002.

¹² Petróleos Mexicanos-Informes. Informe Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Índice de accidentes 1994-1999. México. Abril, 2002
http://www.pemex.com/seguridad_inf_p1.html



**Índices de accidentes
1996-2001***

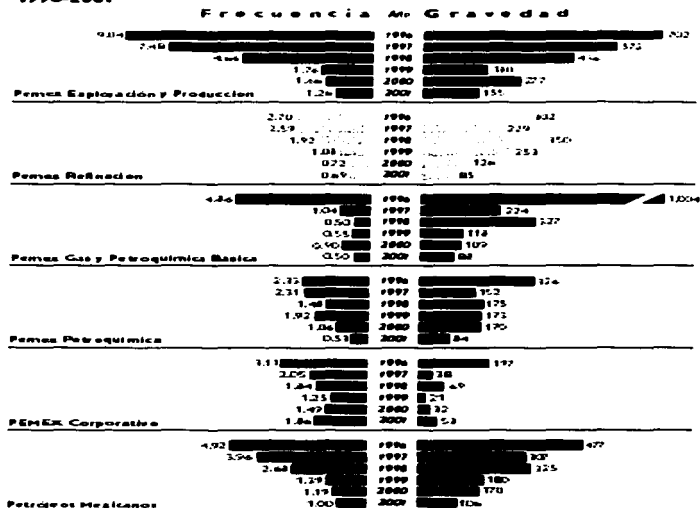


Figura II. Índice de accidentes en PEMEX de 1996-2001.

Las Normas de Referencia contribuyen a que los proveedores, contratistas y prestadores de bienes y servicios cumplan con la legislación establecida, además de los requerimientos que la propia empresa determine.

II.3 Técnicas para efectuar el análisis de riesgos

II.3.1 Clasificación

Métodos Comparativos: Se utilizan para evaluar la seguridad de una instalación a través de la experiencia adquirida en operaciones previas de la planta. Estos se basan en la experiencia acumulada en un proceso determinado y en normas y códigos aplicables a los equipos y líneas de proceso: como el



diseño, fabricación, instalación y operación, y en las medidas de seguridad (sistemas contra incendio, sistemas de relevo de presión, sistemas de control, diques de contención, sistema de alarma, equipos de relevo, manuales de operación). Entre estos se encuentran las técnicas de análisis de peligros como: listas de verificación, revisiones de seguridad, códigos y normas, análisis históricos de accidentes.

Métodos Generalizados: Se basan en esquemas de razonamiento lógico para identificar y evaluar en su totalidad, los riesgos presentes en un determinado proceso, tomando como base la relación causa y efecto. Analizan todos los sucesos que pueden dar origen a situaciones de peligro y se determinan las consecuencias de los posibles accidentes y la probabilidad de ocurrencia de forma cuantitativa. Entre estos se encuentran las técnicas sistematizadas y con razonamiento lógico, como el análisis ¿qué pasaría si?, AAF, AAE, HAZOP.

Métodos Cualitativos: Estos ofrecen resultados no numéricos. Se basan en la experiencia de quienes llevan a cabo el análisis, son relativamente fáciles de implementar y consideran una sola causa de falla cada vez. Entre esta categoría se encuentran: los códigos y normas de seguridad, revisiones de Seguridad, lista de verificación, el análisis histórico de accidentes, etc.

Métodos Cuantitativos: Se caracterizan por un resultado numérico, que utiliza un modelo lógico estructurado para fallas específicas, considerando la combinación de fallas múltiples. Requiere de una gran cantidad de datos estadísticos para calcular la probabilidad de falla. Como el AAF, FMECA, análisis de consecuencias de incendios y explosiones, y HAZOP, etc.¹³

11.3.2 Objetivo

Para realizar un análisis de riesgos es requisito fundamental tener un buen entendimiento del proceso o instalación sujeta a estudio. Eso se logra mediante el acopio y el análisis de la información que describe con detalle el funcionamiento y las interacciones de todos los componentes de la instalación. La información revisada incluye, las bases de diseño, la especificación de equipo, los diagramas de flujo y de instrumentación, las lógicas de control, los programas y las bitácoras de mantenimiento, la calibración, sus pruebas y los manuales de operación normal y de emergencia. De igual modo, se efectúa trabajo de campo como son los recorridos en la instalación y las entrevistas con el personal operativo.

11.3.3 Alcance

Se aplican los métodos teóricos y prácticos de identificación y evaluación de riesgos, dependiendo de la materia objeto de estudio, es decir, una instalación existente o un proyecto de inversión.

13. Santamaría, *ibidem*



Cada uno de los métodos de evaluación de riesgos que se analizarán más adelante tiene aspectos comunes y diferenciados entre ellos. Su selección se realiza según los siguientes criterios:

Objeto: ¿Qué se busca?

Momento: ¿Cuándo se utiliza?

Resultados: ¿Lista, clasificación de riesgos, etc.?

Naturaleza: Cuantitativos / cualitativos.

Información: Diagramas de Tubería e Instrumentación y de Flujo de Proceso, etc.

Personal: Especialista, con experiencia y multidisciplinario.

Tiempo y Costo: Financiamiento del control de riesgo.

II.3.4 Métodos de Identificación de Riesgos

A continuación se muestra la Tabla 3, de recomendación de metodologías a utilizar en cada etapa del proyecto, más adelante se describe cada una de ellas.

Método De Identificación	ETAPA DEL PROYECTO					
	Perfil	Ingeniería Conceptual	Ingeniería Básica	Ingeniería Detalle	Construc. Montaje	Puesta en Marcha
Lista de Verificación	X	X	X	X	X	X
Revisión de Seguridad			X	X	X	X
Índice Dow y Mond				X		
Análisis Preliminar de Riesgos	X	X	X		X	X
What If	X	X	X	X	X	X
HAZOP		X	X	X	X	X
FMECA			X	X	X	
Árbol de Fallas			X	X		X
Árbol de Eventos			X	X		X
Error Humano			X	X	X	X

Tabla 3. Metodologías a utilizar en cada etapa de ingeniería de proyecto.¹⁴

II.3.4.1 Códigos y Normas de Seguridad

Las reglamentaciones internacionales y nacionales proporcionan el ímpetu para los esfuerzos industriales por poner en práctica programas de administración de la seguridad, incluyendo sistemas administrativos, evaluación de peligros y análisis de riesgos, programas de control efectivos y verificación rutinarias.

¹⁴ Anexo "C". Metodologías de identificación de riesgos. REDMINERA.COM. Chile, 2001.
<http://www.redminera.com/Contenido/Codanex2C.htm>



Puestos en marcha, estos elementos pueden reducir en mayor grado la probabilidad de que más de un sistema de seguridad en un proceso falle al mismo tiempo. La experiencia histórica ha demostrado que los accidentes importantes para el diseño, fabricación, distribución, instalación, operación, modificación y desmantelamiento de la planta; esto mediante el apoyo de los manuales de operación. Entre los códigos más importantes a nivel Internacional, se encuentran:

Los Códigos y Normas de Seguridad son los estatutos que dictan el procedimiento para efectuar la técnica de análisis para la evaluación de una planta de determinado proceso, las cuales se basan en normas internacionales, nacionales, locales y estándares complementados con la experiencia. Con el fin de dar los lineamientos para el diseño, fabricación, distribución, instalación, operación, modificación y desmantelamiento de la planta; esto mediante el apoyo de los manuales de operación. Entre los códigos más importantes a nivel Internacional, se encuentran:

Códigos y Normas	Ejemplos
OSHA Occupational Safety and Health Administration	PSM (29 CFR 1910-119) regula la administración de la seguridad del proceso (PSM) de químicos altamente peligrosos
API (American Petroleum Institute)	API 750 "Manejo de procesos peligrosos" (Management of Process Hazards). API 2001 "Protecciones contra incendios en refinerías" (Design and Installation of pressure relief systems refineries).
ASME (American Society of Mechanical Engineers)	Código ASME para calentadores y recipientes a presión (Boiler and Pressure Vessel Code). Código ASME para tuberías (Code for Pressure Piping).
NFPA (National Fire Protection Association)	NFPA 30. Código para líquidos inflamables y combustibles (Flammable and Combustible Liquids Code). NFPA 49. Datos de sustancias químicas peligrosas (Hazardous Chemical Data).
ISO (Internacional organization for Standarization)	ISO 9001. "Sistema de Calidad, Modelo para el Aseguramiento de calidad en Diseño, Desarrollo, Producción, Instalación y Servicio". ISO 9003. "Modelo Para el Aseguramiento de la Calidad en Inspección y Pruebas Finales".
LEEGEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente)	Art. 1º. Preservación y restauración del equilibrio ecológico, protección al ambiente, en el territorio nacional. Art. 15º. Formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley.
NOM (Normas Oficiales Mexicanas)	NOM-018-STPS-2000. Se refiere a la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. NOM-100-STPS-1994. Se refiere a la seguridad en extintores contra incendios a base de polvo químico seco. NOM-086-ECOL-1994. Que indica que se debe regular la calidad de los combustibles para el servicio automotriz, domestico e industrial.

Tabla 4. Códigos y Normas internacionales y Nacionales.

15. Santamaría *ibidem*



II.3.4.2 Revisiones de Seguridad

Una revisión de seguridad (*Safety Review*) es una técnica que realiza una inspección detallada de un área determinada, para identificar los peligros característicos de los procesos en el diseño, en las condiciones de la planta y en las actividades de operación y mantenimiento de la planta. Usando esta técnica, de manera periódica en la operación de una planta, ayuda a implementar mejoras en los programas o manuales. Aquí se identifican los procedimientos de operación que deben ser revisados, que proceso o equipo debe ser reemplazado o requiere de mantenimiento, pues pueden causar accidentes.

Realiza un examen periódico para plantas de alto riesgo, para verificar el cumplimiento de las especificaciones y normas de seguridad generalmente en las etapas de diseño. Estas revisiones las realiza un equipo con experiencia, que audita los estándares de diseño y que visita la planta en construcción para entrevistar a determinadas personas y verificar el cumplimiento de los procedimientos y estándares de seguridad.

Se realiza principalmente para plantas piloto, laboratorios, áreas de almacenamiento o áreas de servicio. Aquí se contempla toda la planta, desde su equipo, instrumentación, accesorios y protecciones hasta áreas de mantenimiento y áreas de servicio (zonas de seguridad, higiene industrial, tratamiento y área de salud). Cuestiona a los ingenieros de todas las áreas de la planta: operación, mantenimiento, ingeniería, administración y seguridad. Observa todas las rutinas de operación (como la descarga de químicos de carros tanque) y las actividades no rutinarias (como el remplazamiento de todos los tubos de un Intercambiador de calor de tubos y coraza). También evalúa los conocimientos y entrenamiento de todo el personal de la planta, por lo que se requiere la cooperación individual y grupal de estos. Este análisis se lleva a cabo en tres etapas: preparación del examen, ejecución del examen y la documentación de resultados.¹⁶

Objeto: Evaluar el cumplimiento de los procedimientos de trabajo, estándares de diseño y normas de seguridad en las etapas de construcción y montaje, puesta en marcha y operación, con el objetivo de asegurar la implantación de las medidas de mitigación, mantener al personal de planta informado de los riesgos del proceso, identificar equipos y cambios que pudieran haber introducido nuevos riesgos desde la última revisión de seguridad e implementar en lo necesario nuevas tecnologías y normas de seguridad.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Básica, Detalle, Construcción, Puesta en Marcha y Operación: como criterio cada un año en plantas de alto riesgo.

16 *Guidelines for Hazard Evaluation Procedures*. Center for Chemical Process Safety, American Institute of Chemical Engineers 2nd ed USA, 1992.



Básica y Detalle: según la etapa, verificar el cumplimiento de los estándares y normas de seguridad.
Construcción y Montaje: periódico en los métodos constructivos críticos.
Puesta en Marcha: antes y durante las pruebas de equipos críticos en vacío y con carga.

Resultados: El Equipo de Inspectores reporta un informe en el que aparecen desviaciones al diseño, deficiencias en operación y puntos nuevos de riesgo y recomendaciones específicas. Se recomienda registrar los resultados en un formulario específico.

Naturaleza de resultados: Cualitativos.

Información necesaria: El equipo técnico asignado deberá estar familiarizado con procedimientos de seguridad, estándares de diseño y normas de seguridad.

Tiempo/Costo: Normalmente entre 2 a 5 personas durante un tiempo mínimo de una semana, depende del tamaño de la planta y complejidad del proyecto. En menor tiempo no es posible la evaluación con el suficiente rigor.

II.3.4.3 Listas de Verificación (CHECKLIST)

La lista de verificación (*Checklist Analysis*) es una técnica en donde el analista de peligros usa una lista de términos específicos que identifican peligros tópicos, deficiencias de diseño, accidentes potenciales que están asociados con los procesos y equipos de operación. Esta técnica puede evaluar materiales, equipos y procedimientos. Se usa, preferentemente, para evaluar un diseño específico del cual, una industria o compañía, tiene suficiente experiencia y desean desarrollar un nuevo proceso para eliminar peligros que se hayan efectuado a través de los años de operación de un sistema similar.¹⁷

Las listas de verificación generalmente, se usan para asegurar que las piezas de un equipo cumplan con los estándares establecidos y también puede identificar áreas que requieran una evaluación. Las elaboran determinadas compañías que manufacturan el producto o construyen la planta. Una lista de verificación de un proceso existente incluye la inspección del área de proceso en cuestión. Requiere de la experiencia acumulada por el personal de la planta y sirve como un recordatorio que permite comparar el estado de un sistema en referencia al sistema en estado normal u óptimo. Identifica las áreas carentes de seguridad o áreas que requieren de mayor estudio y aplica la evaluación de equipos, materiales y procedimientos. Esta técnica consiste en: seleccionar o desarrollar una lista de verificación apropiada, ejecutar la evaluación y documentar los resultados.

17. AICRE, *ibidem*.



Las listas de verificación se utilizan para comprobar el cumplimiento de estándares de diseño y de regulaciones de seguridad. Puede ser empleada en cualquier etapa del proyecto o en las instalaciones de un proceso existente. Deberá realizarla un ingeniero experto familiarizado con el funcionamiento de las instalaciones y que sea conocedor de los procedimientos, normas y reglamentos de seguridad. Una vez realizada la lista deberá auditarse (a comentarios) y actualizarse.

Objeto: Identificar riesgos simples y asegurar cumplimiento con normatividad y estándares.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Perfil, Conceptual, Básica, Detalle, Construcción, Puesta en Marcha y Operación.

Todas las etapas: Verificar en forma rápida y simple el cumplimiento de especificaciones de diseño y la aplicación de normas de seguridad.

Construcción: Cumplimiento con las especificaciones de diseño.

Puesta en Marcha: Verificar cumplimiento de estándares y variables de control de procesos.

Resultados: Identificación de procesos y sus variables críticas, procedimientos, normas de seguridad y verificar cumplimientos con estándares (Si/No). Identificación de situaciones que requieren una evaluación detallada. Se recomienda registrar el resultado en formulario.

Naturaleza de resultados: Cualitativos, decisiones tipo sí/no. Cumplimiento.

Información necesaria: Lista de Chequeo, Normativas y estándares, conocimiento de la Planta/Sistema.

Competencia profesional: Checklist realizado por expertos. La implantación del mismo puede realizarse por cualquier ingeniero. Posteriormente un técnico experto revisará resultados y decidirá próximas acciones.

Tiempo/Costo: Dada la facilidad de utilización es relativamente rápido. Es uno de los métodos de evaluación de riesgos más rápido y barato.

11.3.4.4 Análisis Histórico de Accidentes

En este tipo de análisis se requiere de la información basada en la experiencia que esta compilada en datos del pasado sobre incidentes y accidentes industriales, ya que estos identifican los peligros concretos e inminentes, las fuentes pueden ser datos propios de la compañía, prensa, entrevistas a testigos o informes de investigación, bibliografía especializada, informes de peritajes, bancos de datos de



accidentes tales como CHAFINC (Chemical Accidents, Failure Incidents and Chemical Hazards Databank), CHI (Chemical Hazards in Industry), HARIS (Hazard and Reliability Information System), MIDAS (Major Hazard Incident Data Service), NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health), SONATA (Summary of Notable Accidents in Technical Activities) y WOAD (Worldwide Offshore Accident Databank). El investigador debe tener un criterio, para discernir entre las contradicciones que se dan entre las diferentes versiones de accidentes en el área analizada. Generalmente, la teoría que requiere menos suposiciones es la correcta. El informe de este análisis debe contener¹⁸:

- Circunstancias y consecuencias de los hechos.
- Información recopilada de los accidentes.
- Conclusiones y recomendaciones para prevenir y corregir los accidentes futuros.

Este tipo de análisis se aplica en los lugares susceptibles a riesgos y es útil para la aproximación cuantitativa.

11.3.4.5 Índices de *Dow/Mond*

Los índices de *Dow/Mond* son un método útil que proporciona una jerarquización (*ranking*) o índice relativo de los riesgos inherentes a la planta en cuestión, particularmente para incendios y explosiones. El método está basado en la idea de asignar penalizaciones y bonificaciones según las características de la planta. Las penalizaciones se asignan a condiciones de la unidad/planta que puede contribuir a que ocurra un accidente: las características de la reacción, severidad de parámetros de operación; cantidad de producto involucrado, efectos dominó, etc. Las bonificaciones se asignan a las características de la unidad que puedan mitigar los posibles accidentes: condiciones de seguridad de la unidad, sistema de emergencia, control, contención, protección contra incendios, etc.

Evalúan niveles de manera general de los riesgos de diversas áreas de un proceso y señala en cuales se debe poner más atención para realizar un análisis más profundo. Estos análisis toman en cuenta factores relacionados con el proceso y condiciones de la planta, a fin de señalar las áreas de mayor riesgo. Entre estos factores se tienen las condiciones de operación como: presión, temperatura, las características de materiales utilizados como: explosivos, tóxicos, inflamables, reactivos, corrosivos y biológico-infecciosos; factores característicos del proceso como: que el proceso sea endotérmico, exotérmico, los tipos de reacciones, los volúmenes de producción, etc. Además toma en cuenta las normas y códigos de diseño, fabricación, instalación, operación aplicable a equipos y líneas de proceso; finalmente se enfoca en las medidas de seguridad y planes de emergencia como: procedimientos de paro de emergencia, equipos de emergencia, etc.

18. Santamaría, *ibidem*.



Objeto: Proporcionar una clasificación de unidades en función del índice de riesgo obtenido.

Cuando: En etapas de diseño para identificar áreas vulnerables y medidas de protección, así como en operación.

Resultados: Clasificación de las unidades de la planta basada en el Índice de Riesgo.

Naturaleza de los resultados: Semicuantitativos. Cuantitativos en cuanto a clasificación, además de cualitativos en cuanto a deficiencias de la unidad y tipología de los accidentes.

Información necesaria: Conocimientos precisos de las condiciones de operación de la unidad. Además hay que conocer perfectamente los métodos así como los gráficos, tablas y fórmulas disponibles. (Manuales de usuario).

Competencia profesional: Es necesario un Ingeniero familiarizado con la química del proceso. Es importante que todas las unidades que vayan a formar parte de la clasificación final estén evaluadas por el mismo técnico.

Tiempo/Costo: Depende del número de unidades escogidas para la evaluación. La evaluación de cada unidad conlleva entre uno y tres días dependiendo de la información recibida.

II.3.4.6 Análisis ¿Qué pasaría si?

Este análisis se conoce como el análisis *What if?*, que en español se hace la pregunta ¿Qué pasaría si? cuestionando hipotéticamente cualquier evento. Requiere de mayor experiencia en el área de accidentes y peligros potenciales, pues es menos estructurado y más factible de omitir aspectos importantes. Los especialistas expertos en la aplicación de esta técnica consideran que es una herramienta fácil de emplear y menos tediosa que las otras. Considera las consecuencias de posibles sucesos inesperados así como también supone las fallas sin considerar consecuencias. La pregunta ¿Qué pasaría si? enfoca todas las desviaciones de diseño, construcción, modificación y operación de la planta. Se realiza en áreas concretas por expertos que tienen información detallada de instrumentación, procedimientos, etc.

Esta técnica se aplica para evaluar el campo de sistemas de protección de procesos y es un método de análisis de riesgo general que difiere de otros porque no es tan rígido y sistemático, pues supone que



ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó. Puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda la industria. Ejemplos:

¿QUE PASARÍA SI...

- ...Hay una pérdida de (servicios) agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor?
- ...Hay una pérdida del sistema de enfriamiento?
- ...Hay una pérdida de energía eléctrica?
- ...Hay una pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?
- ...Hay una descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura?
- ...La reacción de descomposición o polimerización no esta controlada?
- ...Hay una explosión o un incendio interno?
- ... Hay falla del operador al efectuar alguna operación crítica?

Contestando a estas u otras preguntas claves se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores de procedimientos, desastres mayores, etc.; los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis. Esta técnica conduce a la determinación de las medidas preventivas requeridas por el control de la falla.¹⁹

Objeto: Identifica posibles accidentes (secuencias) y por tanto identifican riesgos, consecuencias y posibles métodos/formas de minimizarlos.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Perfil, Conceptual, Básica, Detalle, Construcción, Puesta en Marcha y Operación.

Puede usarse en plantas ya existentes, en el proceso de diseño, construcción y montaje y en fases de puesta en marcha. Es especialmente útil para verificar cambios propuestos en una instalación, para la vulnerabilidad y respuesta de los procesos y sus equipos ante una falla en la operación

Resultados: Lista de procesos, equipos, instalaciones e insumos, riesgos críticos, pérdidas potenciales, escenarios de accidentes y formas de reducir las consecuencias de los mismos.

Naturaleza de los resultados: Cualitativa. No existe clasificación cuantitativa entre ellos.

Información necesaria: Documentación detallada de la planta, los procesos, procedimientos de operación, riesgos críticos y a veces entrevistas con el personal de la planta.

¹⁹ AIChE, *ibidem*.



Competencia profesional: Grupo multidisciplinario de especialistas con asesoría de ingenieros de seguridad por cada área de análisis.

Tiempo/Costo: Depende del tamaño de la planta por analizar y el número de áreas de investigación. No es efectivo a nivel costo/tiempo si el personal no tiene el adiestramiento adecuado en la utilización del método.

II.3.4.7 Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMECA)

El análisis *FMECA* (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*) compara en una tabla los equipos de la planta o del sistema, de acuerdo a sus modos de falla, el efecto que acompaña a cada situación de falla que se puede presentar y una clasificación de criticidad de todos los modos. El modo de falla es una descripción de como falla el equipo (abierto, cerrado, arranque, paro, fugas, etc.); su efecto es la respuesta del sistema o la consecuencia resultante de la falla. De esta forma el análisis *FMECA* identifica modos de fallo simples, que directamente o formando parte de una sucesión de los mismos da lugar al accidente. Este método normalmente no examina el posible error humano del operador, sin embargo los efectos de una operación incorrecta son habitualmente descritos como una situación de falla del equipo. El análisis *FMECA* no es efectivo para identificar combinaciones de fallas que den lugar al accidente.

Objeto: Identificar los modos de falla de los equipos / sistemas y los efectos potenciales de cada uno de ellos.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Básica, Detalle, Construcción y Operación de una planta.

Diseño: Puede ser utilizado para identificar medidas de protección adicionales que pueden ser incorporadas al diseño.

Construcción: Es válido para evaluar cambios de equipos resultantes de modificaciones en campo.

Operación: Se utiliza para identificar la existencia de simples fallas que puedan generar accidentes.

Resultados: Lista de equipos de planta/sistema, modos de falla y sus efectos. Esta lista puede ponerse fácilmente al día por modificaciones en la planta/sistema o cambios de diseño.

Naturaleza de los resultados: Cualitativos, clasificación relativa de fallas de equipos basados en frecuencias de fallas estimadas y/o severidad de los riesgos.

Información necesaria: Lista de equipos/componentes, manuales de equipos (funcionamiento) y manuales de operación de la planta/sistema.



Competencia profesional: Depende del tamaño del sistema, pero para una evaluación lo ideal es disponer de dos especialistas, uno de procesos y uno de instrumentación. Es fundamental el perfecto conocimiento del sistema para poder evaluar la evolución del mismo tras una falla.

Tiempo/Costo: Éste depende del tamaño del sistema y el número de ellos. De media a una hora es suficiente para realizar entre 2 y 4 evaluaciones por analista. Para la estimación de tiempos es importante conocer las similitudes entre los distintos sistemas ya que lógicamente se reduce el trabajo.

II.3.4.8 Análisis Preliminar de Riesgos

El principal objetivo de un Análisis Preliminar de Riesgos (*Preliminary Hazard Analysis, PHA*) es identificar riesgos en las etapas iniciales del diseño de la planta e incluso es útil para determinar su emplazamiento más seguro. Por tanto puede ser económicamente conveniente producto del ahorro de tiempo y costo, si se identifican en ese momento los riesgos importantes de la futura instalación. El PHA se centra en los materiales peligrosos, equipos e instalaciones importantes por su costo y valor productivo. Como no se dispone de los detalles de la futura planta, a grandes rasgos se hace una revisión de los procesos y sus equipos que están expuestos a riesgos con consecuencias catastróficas y se prepara una lista de riesgos relacionados con materias primas, productos intermedios y finales, equipos de planta, operaciones, equipos de seguridad, etc.

Como resultado se obtienen recomendaciones para reducir o eliminar riesgos en las posteriores fases del diseño de la planta.²⁰

Objeto: Identificar en las primeras etapas del proyecto los peligros potenciales, de manera que se establezcan mecanismos para mitigarlos en sus inicios para asegurar la operación futura de la planta.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Perfil, Conceptual, Básica, Construcción, Operación.

Diseño: Útil en las primeras etapas del proyecto y en la etapa de la Ingeniería Básica de la planta.

Construcción y Montaje: Es una forma simple y rápida para realizar un inventario de riesgos críticos a las actividades y tareas definidas para la fase de construcción y montaje.

Operación: Es una forma simple y rápida para realizar un inventario de riesgos críticos a plantas y procesos relevantes por sus costos asociados e incidencia en la producción.

²⁰ Sandler, *ibidem*.



Naturaleza de los resultados: Se obtiene un listado cualitativo de riesgos potenciales con recomendaciones para reducir situaciones peligrosas de los equipos e insumos de plantas y procesos, en cualquiera etapa del proyecto. Se recomienda registrar los resultados en un formulario específico.

Información necesaria: Criterios y especificaciones de diseño, especificaciones de equipos y materiales y caracterización de los riesgos críticos.

Competencia profesional: Uno o dos Ingenieros de seguridad.

Tiempo/Costo: Pequeño comparado con el ahorro que puede suponer una temprana identificación del riesgo potencial.

II.3.4.9 Análisis del Error Humano

Un análisis de error humano es una evaluación sistemática de todos los factores que influyen en las actuaciones de los trabajadores de la planta, por lo tanto, corresponde a un análisis minucioso de las diversas tareas realizadas en un sistema determinado. Es un método que consiste en describir las características del entorno requerido para realizar adecuadamente las actividades e identificar las situaciones de error (probabilidad de falla) que pueden desencadenar un accidente.

Un error humano ocurre cuando la acción del ejecutor no logra el objetivo o propósito de su trabajo, ya sea porque: no comprende cualquier cambio físico percibido por los sentidos (vista, oído, tacto u olfato, es decir un estímulo recibido); su reacción es inadecuada hacia los estímulos recibidos en cuanto al proceso de pensar y decidir que hacer (respuesta interna); su interpretación lógica o recordatorio de las instrucciones recibidas (respuesta externa).

Ejemplos de errores humanos percibidos en este tipo de análisis: no escuchar o ver una alarma por distracción, malinterpretar la posición de la aguja de un manómetro, no recordar que acciones tomar por entrenamiento inadecuado, cerrar o abrir incorrectamente una válvula por interrupciones, distracciones, fatiga, etc.

Objeto: Identificar las causas potenciales las fallas o errores humanos que pueden originar un accidente.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Básica, Detalle, Construcción, Puesta en Marcha y Operación.



Resultados: El resultado es un listado cualitativo de posibles sucesos no deseado originados por el error humano y que genera una serie de recomendaciones para el comportamiento del trabajador, procedimientos de trabajo, condiciones de higiene ambiental, capacitación de trabajador etc., para mejorar la capacidad de actuación del operador. Es una buena herramienta para identificar errores humanos con consecuencias catastróficas que deben inhibirse durante las etapas de diseño.

Información necesaria: Se deberá tener acceso a los procedimientos de las plantas, entrevistas con el personal, conocimiento de la planta, paneles de control/alarma, estadística de accidentes, etc.

Competencia profesional: Un analista por planta, instrumentistas y asesores de seguridad.

Tiempo/Costo: El tiempo total requerido para el Análisis del Error Humano depende de la complejidad de la planta y del grado de automatización de la misma. Como idea, una etapa de la tarea/procedimiento requiere una hora de trabajo.

11.3.4.10 Análisis Árbol de Eventos (*Event Tree Analysis*)

El análisis del árbol de eventos (*Event Tree Analysis*, ETA) evalúa los resultados de un accidente potencial que podría resultar al presentarse una falla o alteración. Se interesa más por los resultados que por las causas. Supone algo ya ocurrido y construye un "árbol lógico" que conecta dicho suceso inicial con los finales, donde la rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final. Se usa para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos después de haber ocurrido un accidente. A diferencia del árbol de fallas (*FTA*), el análisis del árbol de eventos es un proceso "con visión a futuro", ya que el analista comienza su trabajo identificando un evento inicial, para posteriormente analizar una cadena de sucesos, teniendo en cuenta los aciertos y errores de las funciones de seguridad según progresa el accidente. Por tanto, esta metodología es una buena herramienta para registrar secuencias de accidentes, siendo adecuada para analizar aquellos casos que empiezan y pueden derivarse en una gran cantidad de efectos.

Objeto: Identificar las secuencias del suceso desde que comienza hasta que termina el accidente.

Cuando: En las etapas de ingeniería: Básica, Detalle, Puesta en Marcha y Operación. Tanto en las etapas de diseño como en la operación, para evaluar la efectividad de las medidas de seguridad definidas en los sistemas de protección de procesos y equipos.



Naturaleza de resultados: Los resultados son inicialmente cualitativos, si bien puede darse la probabilidad de ocurrencia si se conocen las probabilidades de ocurrencia de los sucesos.

Información necesaria: Conocimiento de sucesos y de las funciones de seguridad y procedimiento de emergencia que pueden mitigar el suceso no deseado.

Competencia profesional: Un análisis de Árbol de Consecuencias puede realizarse por un solo especialista siempre que conozca el método. En caso de sistemas más complejos es preferible un equipo de 2 a 4 personas.

Tiempo/Costo: Depende de la complejidad del sistema y del número de sucesos iniciales definidos. Se encarece si se pretenden tener resultados cuantitativos.

II.3.4.11 Análisis de Riesgos y Operabilidad, HAZOP(Hazard and Operability Analysis)

El análisis HAZOP, se desarrolló en los años 70's en Gran Bretaña por ingenieros de la Imperial Chemical Industries (ICI), como respuesta a la creciente escala y complejidad de los procesos químicos tanto en la operación como en la automatización y se reconoció que los accidentes eran resultado de una cadena lógica de causas y circunstancias, que podían evitarse o por lo menos reducir su gravedad o frecuencia.

II.3.4.11.1 Concepto: Un HAZOP consiste en revisar la planta en una serie de reuniones durante las cuales un equipo multidisciplinario realiza una "tormenta de ideas", sobre su diseño. La gran ventaja de este método es que genera muchas ideas como resultado de la interacción de las distintas experiencias de los técnicos que forman el equipo HAZOP.

El facilitador, guía o líder del equipo realiza inicialmente una identificación de nodos de cada proceso. De cada uno de estos nodos se estudian las desviaciones de los parámetros de proceso utilizando las palabras-guía. Con esto se asegura que el diseño se explora en todas las vías concebibles. El grupo, por tanto, debe identificar un gran número de desviaciones, cada una de las cuales serán estudiadas, proponiendo sus causas, consecuencias y las acciones a tomar en caso de que éstas sean problemáticas.

El momento oportuno para realizar un estudio HAZOP es con el diseño definitivo, ya que éste estará suficientemente definido para trabajarlo y, así, los posibles cambios de diseño derivados del estudio podrán realizarse sin grandes costos. Sin embargo, el método puede utilizarse en plantas existentes, por ejemplo,



para modernizar sistemas de instrumentación y control en plantas antiguas ya que existe una relación especial entre el estudio HAZOP y el control de una planta.

El HAZOP se basa en dos premisas fundamentales:

- Los sistemas funcionan bien, cuando operan de acuerdo con la intención de diseño.
- Los riesgos y problemas operacionales son generados por desviaciones a la intención de diseño.

El éxito/fracaso del HAZOP depende entre otros factores de la información disponible (Diagramas de Tubería e Instrumentación y de Flujo de Proceso, datos de planta, etc.) y de la elección y habilidad del equipo para:

- Definir los parámetros del nodo:** Se definirá como se espera que opere en ausencia de desviaciones.
- Aplicar palabras guía**
- Identificar las Desviaciones,** aplicando sistemáticamente las palabras guía que sean factibles.
- Identificar la Causas generadoras de la desviación.**
- Identificar las Consecuencias,** como resultado de las desviaciones en estudio.
- Identificar Protecciones.**
- Emitir Recomendaciones.**

II.3.4.11.2 Definiciones para el HAZOP

Palabras guía: Se usan para enfocar la atención del equipo HAZOP sobre las desviaciones y causas posibles, palabra que en conjunto con los parámetros sugieren desviaciones posibles o problemas potenciales. Por ejemplo: no, mas y/o menos, además de, parte de, inversión, en vez de, otro que, también como.

Parámetro: Enfocan la atención sobre un aspecto particular de la intención de diseño o parámetro o condición de un proceso asociado; como: flujo, presión, separación, reacción, corrosión, temperatura, nivel, composición, mezcla, viscosidad, etc. O palabras de aspecto operacional como: arranque, paro, mantenimiento, inspección, drenar, purgar, venteo, etc.

Intención: Modo normal de operación en ausencia de desviaciones.

Desviación: Cualquier falla que altera la intención de diseño.

Causa: Razón por la cual se produce la desviación.

Consecuencia: Las que se originan debido al efecto de la desviación, no se debe asumir.

Protecciones: dispositivos que previenen la causa o protegen contra consecuencias.

Recomendaciones: consideran si las consecuencias y protecciones son adecuadas o no, y cuando una causa resulta tener una consecuencia negativa, se debe decidir si se toma o no la recomendación.



Parámetro	Palabras guía		Desviación
Reacción	No	(negación de lo previsto en diseño)	No reacción
Presión	Más	(aumento cuantitativo de una variable)	Más presión
Temperatura	Menos	(opuesto a más)	Menos temperatura
Concentración	Además de	(aumento cuantitativo)	Impurezas
Mezcla	Parte de	(disminución cuantitativa)	Menos proporción de un componente de una mezcla
Flujo	Inverso	(opuesto a lo previsto en el diseño)	Flujo inverso

Tabla 5. Palabras Guía para localizar desviaciones o causas.

II.3.4.11.3 Proceso de Trabajo

Para poner en práctica el estudio HAZOP hay que realizar necesariamente los siguientes pasos:

1. Definir el propósito, los objetivos y el alcance del estudio.
2. Seleccionar el equipo HAZOP.
3. Preparación de sesiones.
4. Convocatoria sesiones HAZOP.

II.3.4.11.3.1 Definición del propósito, los objetivos y el alcance del estudio

Serán lo más explícitos posibles. Estos se fijan normalmente por el responsable de la Planta o Proyecto asistido por el Ingeniero de Seguridad, quien podrá ser el Coordinador (líder facilitador o guía) del estudio. Además del objetivo general, que es identificar problemas de operación y riesgos asociados, pueden existir algunos otros más concretos (por ejemplo desarrollar una lista de cuestiones a plantear al suministrador del equipo/proceso; verificar la instrumentación de seguridad) así como qué consecuencias van a ser consideradas (por ejemplo seguridad física, pérdida de planta o equipo, producción, impactos ambientales, seguridad pública, asegurabilidad, etc.).

II.3.4.11.3.2 Selección del Equipo HAZOP

Si bien depende de los factores apuntados en el punto anterior, el equipo óptimo estará formado por 4 a 7 miembros. Si se selecciona un equipo muy numeroso es muy posible que no funcione adecuadamente.



Así mismo si se selecciona por ahorro un equipo demasiado pequeño o con poca experiencia puede presentar graves riesgos de deficiencias en algún campo en concreto. Una composición típica de un equipo completo de HAZOP es la siguiente: Ingeniero de Diseño, Ingeniero de Proceso, Supervisor de operaciones (Jefe de Planta), Ingeniero de Instrumentación, Químico, Supervisor de Mantenimiento y Ingeniero de Seguridad

El Coordinador del Equipo (líder o guía) tiene como principal misión mantener orientado al mismo en sus objetivos de identificar problemas, no necesariamente solucionarlos. Hay una especial tendencia entre los técnicos a intentar búsqueda de soluciones rebuscadas con la consiguiente pérdida del enfoque del estudio.

El Coordinador debe tener siempre presente lo siguiente:

- No debe competir en ningún sentido con los miembros del equipo.
- Escuchar y hacer participar a todos los miembros, estimulando la lluvia de ideas.
- No permitir que los miembros del equipo mantengan actitudes de autodefensa.
- Imprimir el ritmo de la sesión e intentar mantener el mayor grado de concentración del equipo.

II.3.4.11.3.3 Preparación de Sesiones (Estudio inicial)

Esta depende en gran medida del tamaño y la complejidad de la planta. El trabajo de preparación consiste en obtener los datos necesarios, extraer la información aprovechable (no intentar trabajar "entre papeles" innecesarios), planear la secuencia del estudio y convocar las sesiones. Típicamente los datos consisten en planos de diagramas de flujo, isométricos y planos de instrumentación. Adicionalmente se utilizan manuales de operación, manuales de equipos, diagramas lógicos de control, etc. Estos datos se deben verificar para asegurarse de que no existen discrepancias o ambigüedades.

Respecto a la tarea de dar forma adecuada a la información recopilada y definir la secuencia del estudio, ésta depende fundamentalmente del tipo de planta. Para plantas de tipo continuo el trabajo es mínimo; los Diagramas de Tubería e Instrumentación y de Flujo de Proceso contienen suficiente información para poder trabajar; respecto a la secuencia es simplemente seguir el proceso desde su inicio dividiéndolo en circuitos y cada circuito en nodos que son establecidos por el coordinador antes de comenzar la primera sesión HAZOP. Podrán aparecer otros nodos con el aprendizaje del proceso durante el estudio. El coordinador preparará una presentación inicial del estudio: objetivos, planeamiento del trabajo, metodología, etc.



II.3.4.11.3.4 Convocatoria de Sesiones

Una vez que todo lo anterior ha sido suficientemente preparado, el coordinador del equipo está en disposición de convocar a sesiones. El primer paso es evaluar las horas de sesión necesarias para realizar el estudio.

Una vez determinada la duración del estudio se convocarán las sesiones. Cada sesión no deberá durar más de cuatro horas (ideal) y preferentemente por la mañana. Sesiones más largas se hacen excesivamente tediosas y lógicamente repercute en la calidad del estudio. Por limitaciones en el tiempo pueden aceptarse sesiones de 5 días consecutivos de 5 a 6 horas cada sesión, pero este ritmo debe ser excepcional por las razones antes expuestas.

II.3.4.11.3.5 software

Existe *software* para aplicar la metodología en forma sistemática a plantas y procesos, además permite que los resultados se registren en planillas y formularios en forma automática. Un ejemplo es el "HAZOP Wizard" desarrollado por la UNAM, el cual fue utilizado para el desarrollo del presente proyecto.²¹

II.3.4.11.5 Nodalización de la instalación o proceso²²

Una vez cubiertos los puntos anteriores, se procede a dividir el proceso en circuitos. A su vez, los circuitos serán divididos en nodos. Los nodos son partes del proceso lo suficientemente pequeños para ser significativos y lo suficientemente grandes para poderse manejar, es decir, se considera como nodo un equipo con sus líneas de alimentación y descarga o aquella parte del proceso en la cual un parámetro de la operación varía. A partir del estudio del diseño, de la operación y del mantenimiento de la instalación, se tienen los elementos para generar un esquema de nodalización que emplea los siguientes criterios:

- Los nodos se establecen a partir de la función que cumple el equipo (líneas de proceso, líneas de combustible, líneas de subproductos) y de la dirección de flujo.
- Un nodo puede incluir uno o varios equipos, individuales o compuestos, que en su conjunto cumplen una misión en el proceso o instalación.
- Un nodo puede incluir uno o varios equipos, como los mencionados antes, que aunque no compartan una misión común, manejan variables de proceso que no varían de forma significativa.

21 Hazop Wizard versión 2.13 para Access 200/xp ©UNAM, 2002. Facultad de Química.

22 Rogelio Rea Soto y Salvador Sandoval Valenzuela. *Análisis de riesgos en la industria química*. Boletín IIE, mayo-junio del 2000.



II.3.4.11.6 Reuniones del análisis HAZOP

La etapa de reuniones de análisis HAZOP se refiere al proceso en el que el grupo multidisciplinario aplica un protocolo de análisis. En la aplicación del protocolo, cada miembro del equipo aporta su experiencia y conocimientos en beneficio del estudio. El ambiente y enfoque de estas reuniones tiene como principal objetivo el que varios expertos, actuando en grupo, generen un estudio más completo del que se lograría trabajando en forma individual.

La conformación del grupo requiere del nombramiento de un coordinador principal y de un secretario. El coordinador tiene la función de moderar las reuniones y el secretario se encarga de llenar los formatos que documentan el estudio, a medida que éste avanza.

El protocolo de análisis consiste en lo siguiente: para cada nodo se define su función y se selecciona una variable relevante del proceso, es decir un parámetro (presión, temperatura, flujo, corriente, entre otras). A estas variables se les aplica una palabra guía (no, alto, bajo, inexistente), que combinada con la variable seleccionada, genera una desviación (alta presión, bajo flujo, etcétera). Para cada desviación se hace una relación de las posibles causas que la pueden originar y sus posibles consecuencias.

Para cada desviación hay que:

1. Identificar causas.
2. Para cada causa, determinar consecuencias asumiendo que fallan todas las protecciones o no existen.
3. Listar las salvaguardas y protecciones.
4. Determinar el nivel de riesgo para cada causa, considerando la frecuencia con la que se da la causa y la gravedad de las consecuencias.
5. Hacer recomendaciones para minimizar el riesgo, ya sea realizándolas para disminuir la frecuencia de la causa o para disminuir la gravedad de la consecuencia.

Esto se hace hasta agotar todas las palabras guía que se apliquen a la variable y para todas las variables que afecten a cada nodo. Finalmente, el proceso se continúa para todos los nodos de la instalación.

II.3.4.11.8 Documentación del HAZOP

La documentación del HAZOP consiste en integrar en formatos especializados para cada una de las desviaciones: sus causas, consecuencias, salvaguardas y recomendaciones. Cuando proceda, las



recomendaciones se deben sustentar en normas, estándares y prácticas recomendadas aplicables, un ejemplo de estos formatos es la figura III.

	Planta:		Circuito:		Fecha:				
	Nodo:								
	Diagramas:				Producto:				
Desviación:		LOI:		LOS:		LSI:		LSS:	
Causa:	Consecuencias	Protecciones:	Recomendaciones:	F	G	R	Clase		

Figura III. Tabla Típica de Resultados del Análisis HAZOP.

Habitualmente los resultados de las reuniones HAZOP se registran en forma de tabla sin embargo, las recomendaciones se pueden consignar en forma separada.

II.3.4.11.9 Resultados esperados del Análisis

Un estudio HAZOP se puede documentar de muchas maneras. Registrando los resultados de las reuniones en forma de tabla se conservan de una manera detallada las conclusiones del equipo. La documentación de un análisis HAZOP puede incluir:

1. Una breve descripción del proceso.
2. Una lista de diagramas o procedimientos descriptivos.
3. Los nombres, filiaciones y asistencia de los miembros del equipo.
4. Una breve descripción de cómo se utilizó la técnica HAZOP.
5. Las notas de las reuniones HAZOP.
6. Una lista de mejoras potenciales en seguridad (recomendaciones o acciones) para la consideración de la gerencia de la planta.

II.3.4.12 Análisis de árboles de fallas

II.3.4.12.1 Concepto

Un árbol de fallas es un diagrama lógico-gráfico que describe la manera en que se pueden combinar diferentes eventos para que ocurra un evento indeseado. Es una técnica usada para calcular la



probabilidad de falla de un sistema, basado en la probabilidad de falla de sus componentes. Usa lógica inductiva, que es la: identificación de un evento principal o culminante (generalmente la falla de un sistema) y luego de las causas que pueden producir dicho evento. Es aplicable a sistemas formados por eventos que se pueden describir con lógica *Booleana* (el evento ocurre o no).²³

Además, es una técnica de análisis tanto cualitativa como cuantitativa. Es cualitativa porque identifica las posibles combinaciones de eventos que conducen a la ocurrencia de un evento indeseado, denominado evento tope o culminante.

Es cuantitativa porque puede estimar la frecuencia y/o probabilidad de ocurrencia de dicho evento. Para elaborar un árbol de fallas se requiere de la selección de un evento tope o culminante. Ejemplos de eventos tope pueden ser los siguientes: la reacción descontrolada en un reactor químico, la falla del tren del aterrizaje de un avión, la falla de la energía eléctrica en un hospital, etcétera. En un esquema de análisis integral de riesgos, como el que se presenta en este trabajo, el evento tope se selecciona una vez que se ha concluido el estudio HAZOP, ya que se considera aquel evento que puede tener consecuencias catastróficas.

11.3.4.12.2 Componentes de un Árbol de Fallas

La estructura de un árbol de fallas es la siguiente: la falla o accidente que se quiere analizar aparece en el tope de un diagrama y consiste del **evento culminante**, este luego se vincula con otros eventos básicos (como en un árbol jerárquico) y con otros **eventos de falla** (el evento tope se va desagregando en **eventos básicos**) por medio de **compuertas lógicas**.

La ventaja principal del árbol de fallas es que el análisis está solo restringido (concentrado) a un evento particular. La construcción de un árbol de fallas provee al analista un mejor entendimiento de las fuentes potenciales de falla, por ende, un medio para analizar el diseño y la operación de un sistema, de esta forma, eliminar las potenciales causas de falla. Cuando el árbol de fallas está completo, éste sirve para analizar la combinación de diferentes fallas en cada componente; errores operacionales u otras fallas pueden causar el evento tope. Finalmente el árbol de fallas se puede emplear para calcular la **probabilidad de falla bajo demanda**, la **no-confiabilidad** y la **indisponibilidad** del sistema en cuestión.²⁴

23. Rea Soto, *ibidem*.

24. **Análisis de Riesgo Probabilístico** - IMM3100 Gestión Ambiental. Análisis de Riesgo Ambiental - Eventos de Baja Probabilidad de Ocurrencia. Prof. Luis Cifuentes. Pontificia Universidad Católica de Chile. Octubre, 2001. Chile.



II.3.4.12.3 Simbología para Árboles de Fallas

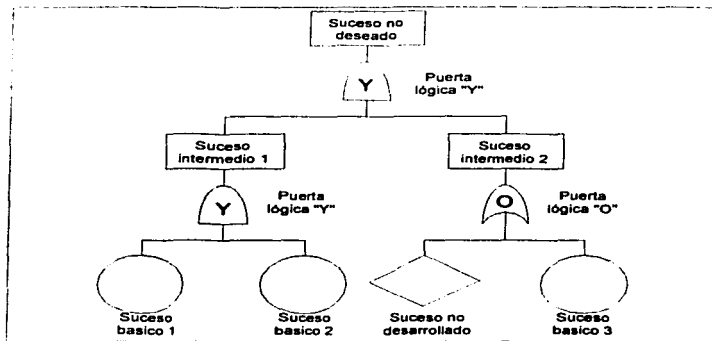


Figura IV. Representación gráfica de árbol de fallas.²⁵

II.3.4.12.3.1 Símbolos de las Compuertas

Las compuertas conectan los eventos de acuerdo con las relaciones causales. **Una compuerta puede tener uno o más eventos de entrada pero sólo un evento de salida.**

El evento de salida de una compuerta Y ocurre si todos los eventos de salida ocurren simultáneamente. Por otro lado los eventos de salida de una compuerta O ocurren si cualquiera de los eventos de salida ocurre.

Las relaciones causales expresadas por una compuerta Y o por una compuerta O son determinísticas, porque la ocurrencia del evento de salida está completamente controlada por el evento de entrada. Un ejemplo de una relación causal no determinística es el siguiente: **una persona es atropellada por un automóvil y la persona muere**, la relación causal entre estos dos eventos no es determinística porque no siempre una persona muere si es atropellada por un automóvil.

25 Anexo "C". Metodologías de identificación de riesgos. REDMINERA.COM Chile, 2001.
<http://www.redminera.com/Contenido/Codanexos.htm>



SÍMBOLO	COMPUERTA	SIGNIFICADO
	Y	El evento de salida ocurre si todos los eventos de entrada ocurren.
	O	El evento de salida ocurre si cualquiera de los eventos de entrada ocurre.
	INHIBICIÓN	El evento de salida ocurre cuando ocurre el evento de entrada y se satisface la condición de inhibición.
	Y CON PRIORIDAD	El evento de salida ocurre si todos los eventos de entrada ocurren en el orden de izquierda a derecha.

Figura V. Símbolos de algunas compuertas y su significado.

La compuerta **inhibición** se emplea para representar relaciones causales probabilísticas. El evento de la parte inferior se denomina el **evento de entrada**, mientras que el evento del costado es el **evento condicional**.

El evento condicional toma la forma de un evento condicionado al evento de entrada. El evento de salida ocurre si ambos, el evento de entrada y el condicional, ocurren. La compuerta Y con prioridad requiere que los eventos de entrada ocurran en el orden que aparecen de izquierda a derecha, para que el evento de salida ocurra. A continuación, se presenta una figura con los símbolos de las compuertas y su significado.

II.3.4.12.3.2 Símbolos de los eventos

En un árbol de fallas, un rectángulo indica un evento de falla resultante de una combinación de más eventos básicos actuando a través de compuertas lógicas. Los círculos indican un componente de falla básico y representa el límite de resolución de un árbol de fallas (este evento no se descompone). Para poder evaluar un árbol de fallas, el círculo representa un evento del que se dispone información de su confiabilidad. Los eventos casa (**house event**) son eventos que se emplean para representar la ocurrencia o no del mismo.

Es decir, el evento es **habilitado (encendido)** para que ocurra o no (**apagado**), esto va de acuerdo con las necesidades de evaluación que se tengan. Inclusive se pueden suspender todas las relaciones



causales debajo de una compuerta Y por medio de la inhabilitación o **apagado** de un evento casa que es una entrada a la compuerta.

Los eventos triángulo sirven de transferencia dentro de un árbol. En la siguiente Figura se presentan los símbolos que corresponden a los distintos eventos.



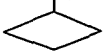

SÍMBOLO	EVENTOS	SIGNIFICADO
	EVENTO BÁSICO O RAÍZ	Falla de un componente que no requiere mayor desarrollo. Un evento básico es el menor nivel de un AF.
	EVENTO INTERMEDIO	Un evento de falla que resulta de la interacción de otros eventos de falla que son desarrollados por las compuertas lógicas mencionadas anteriormente.
	EVENTO NO DESARROLLADO	Evento de falla que no se examina en mayor grado porque la información es insuficiente o un mayor desarrollo va más allá del objeto de estudio.
	EVENTO CASA O EXTERNO	Una condición o un evento que se asume existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas. Puede o no ocurrir.

Figura VI. Simbología de Eventos

II.3.4.12.4 Metodología para el Análisis

Hay cuatro pasos que un analista debe realizar para poder llevar a cabo un AF:

1. Definición del problema.
2. Construcción del árbol de fallas.
3. Análisis cualitativo y cuantitativo del modelo de AAF.
4. Documentación de los resultados.

II.3.4.12.4.1 Definición del problema

Para definir el problema se deben seleccionar: (1) un **evento tope** y (2) las **condiciones de contorno para el análisis**. Estas condiciones de contorno incluyen:



- Límites físicos del Sistema
- Nivel de Resolución
- Condiciones Iniciales
- Eventos no permitidos
- Condiciones existentes
- Otras suposiciones

II.3.4.12.4.2 Evento tope

La definición del evento tope es uno de los aspectos más importantes del primer paso. El evento tope es el accidente (o evento no deseado) que es el sujeto del AF (este evento normalmente se identifica a través de previas evaluaciones de riesgos; en este trabajo fue resultado de análisis HAZOP). Los eventos topes se deben definir precisamente para el sistema o la planta que se está evaluando, debido a que los análisis muy amplios y los eventos pobremente definidos normalmente conducen a análisis ineficientes. Por ejemplo: un evento tope de **incendio en la planta** es demasiado general para un AF. En cambio, un evento tope apropiado sería **disparo de la reacción en un reactor de oxidación del proceso durante la operación normal**. Esta descripción del evento está bien definida y bien determinada ya que dice el: **qué, dónde y cuándo**. El **qué** (disparo de la reacción) dice el tipo de accidente, el **dónde** (reactor de oxidación del proceso) dice el equipo del sistema o proceso involucrado en el accidente, y el **cuándo** (durante la operación normal) dice la configuración de la totalidad del proceso.

II.3.4.12.5.3 Construcción del árbol de fallas

La técnica de AF se basa en un razonamiento deductivo. Una vez que se ha definido el evento tope, se exploran las causas inmediatas que podrían ocasionarlo y se responde a la pregunta siguiente: ¿qué lo puede causar? Es por eso que la técnica se define como deductiva. Ese proceso de pensamiento se realiza para cada una de las causas inmediatas, para que con su desarrollo deductivo se generen las ramas del árbol. Si las causas inmediatas se siguen desarrollando, se definen como eventos intermedios del árbol de fallas. Si, por el contrario, las causas inmediatas no se desarrollan, se definen como los eventos primarios del árbol de fallas.

Existen dos tipos de eventos primarios: los básicos y los no desarrollados. Los eventos básicos son aquellos que no requieren un desarrollo posterior, ya que por sí solos dan una clara explicación de una falla particular del sistema. Los eventos no desarrollados, como su nombre lo indica, son aquellos que no ocurrieron porque el evento tope está fuera de los límites definidos para el análisis del sistema, o bien, porque no se cuenta con información adicional para tal fin, de modo que su desarrollo no altera significativamente el análisis.



La manera en que se combinan los eventos (tope, intermedios y primarios) se hace por medio del uso de compuertas lógicas (Y, O, entre otras). Sin embargo, los dos tipos de compuertas citados son los más utilizados durante la construcción de un árbol de fallas.

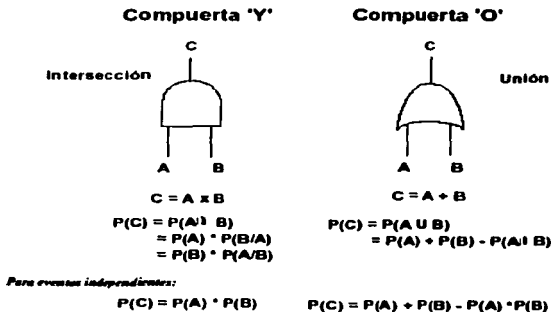


Figura VII. Compuertas Lógicas

Cada evento primario es una falla y pueden ser de los siguientes tipos: de equipo, errores humanos o eventos externos tales como condiciones climatológicas, acciones de sabotaje, etcétera.

II.3.4.12.4.4 Evaluación de árboles de fallas

La evaluación de los árboles de fallas se realiza en dos etapas. En primer lugar, una expresión lógica se construye para el evento tope en términos de combinaciones (uniones e intersecciones) de los eventos básicos. Esto se considera como un análisis cualitativo. Luego estas expresiones se emplean para dar la probabilidad del evento tope en término de las probabilidades de los eventos primarios. Esto se considera como el análisis cuantitativo. Esto significa que conociendo las probabilidades de los eventos primarios podemos conocer las probabilidades del evento tope. Para realizar estas simplificaciones las reglas del álgebra de Boole son muy útiles.

Elas permiten simplificar las expresiones lógicas para el árbol de fallas y por lo tanto expresar en una fórmula la probabilidad que el evento tope ocurra en términos de las probabilidades de falla de los eventos básicos.



En la Tabla 6. se citan algunas de las reglas *Booleanas* de uso frecuente en la evaluación de árboles de fallas:

REGLAS BOOLEANAS DE USO FRECUENTE EN LA EVALUACIÓN DE ÁRBOLES DE FALLAS	
<i>Commutativa</i>	$AB = BA$ $A + B = B + A$
<i>Asociativa</i>	$A(BC) = (AB)C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$
<i>Distributiva</i>	$A(B + C) = AB + AC$ $A + BC = (A + B)(A + C)$
<i>Otras</i>	$AA = A$ $A(A + B) = A$ $AA^* = 0$ $0A = 0$ $1A = A$ $(A^*)^* = A$ $A + A = A$ $A + AB = A$ $A + A^* = 1$ $0 + A = A$ $1 + A = 1$

Tabla 6. Reglas del Álgebra Booleana para la Evaluación de Árbol de Fallas.

II.3.4.12.4.5 Evaluación cualitativa

En esta etapa se obtienen los conjuntos mínimos de corte (CMC) del árbol de fallas construido. Un CMC es la combinación mínima de eventos que tendrían que presentarse para que ocurra el evento tope.

El orden de un CMC está determinado por el número de eventos primarios que incluye, es decir, un CMC de orden dos (o de segundo orden) está integrado por dos eventos primarios; un CMC de orden tres (o de tercer orden) está integrado por tres eventos básicos, y así sucesivamente. En general, los CMC de orden inferior indican que el evento tope ocurre con la combinación de un número menor de eventos primarios.

II.3.4.12.4.6 Algoritmo de identificación de un CMC

Una compuerta *O* incrementa el número de conjuntos de corte, mientras que una compuerta *Y* incrementa el número de eventos en un conjunto de corte, de acuerdo con esto se puede establecer el siguiente algoritmo:



1. Identificar las compuertas con un nombre.
2. Identificar (numerar) cada evento básico.
3. Ubicar la primera compuerta después del evento tope en la 1ª fila y columna de una matriz.
4. Iterar de un modo *top-down* haciendo las siguientes operaciones:
 - Reemplazar las compuertas O por un arreglo vertical compuesto por las entradas a la compuerta e incrementar los conjuntos de corte.
 - Reemplazar las compuertas Y por arreglos horizontales de las entradas e incrementar la medida del conjunto de corte.
5. Cuando todas las compuertas han sido reemplazadas por los eventos básicos obtener los conjuntos de corte mínimos removiendo todos los conjuntos que incluyen algún otro conjunto.

Siempre se podrá transformar el evento principal a la forma:

$$T = M1 + M2 + \dots + Mn$$

Los Mi son eventos secundarios llamados "conjuntos de corte mínimos", que cumplen con:

- La ocurrencia de cualquiera de ellos causa el evento principal.
- Cada uno define un modo de falla del sistema.

II.3.4.12.4.7 Evaluación Cuantitativa

Los objetivos de esta etapa son los de obtener la probabilidad de ocurrencia del evento tope, así como de cada uno de los CMC del árbol desarrollado. También se busca identificar los eventos de mayor contribución a la ocurrencia del evento tope. Para llevar a cabo el análisis cuantitativo es necesario obtener la probabilidad de ocurrencia de los eventos primarios. Como ya se mencionó, los eventos primarios pueden ser errores humanos, fallas de equipo o eventos externos.

Para calcular la probabilidad de los eventos ocasionados por el error humano se pueden emplear métodos para la evaluación de la confiabilidad humana. También se pueden utilizar datos genéricos de errores humanos. Para calcular la probabilidad de falla de algún equipo, se emplean modelos matemáticos que consideran diferentes características como las siguientes: tasa de falla del equipo, el modo de operación (continua o por demanda), la capacidad que tiene el equipo de ser reparable, el tipo de funcionamiento monitoreado o no, y la frecuencia del mantenimiento.

II.3.4.12.5.12 Análisis de sensibilidad

El objetivo de esta etapa es evaluar la probabilidad de ocurrencia del evento tope, suponiendo que han sido incorporadas recomendaciones para disminuir la probabilidad de ocurrencia del mismo. En este



caso, se obtienen nuevas probabilidades de ocurrencia para los eventos básicos en los que ya se han aplicado las recomendaciones y de ser necesario, se modifica el árbol de fallas.

II.3.4.12.4.9 Documentación del Análisis de Árbol de Fallas

En esta etapa se genera un informe que incluye el árbol de fallas construido, la evaluación cualitativa (los CMC generados) y cuantitativa (la probabilidad del evento tope), el proceso de análisis de sensibilidad y la descripción detallada del cálculo de probabilidades que se realizó para cada evento primario. Se incluye también una lista de recomendaciones que como en los casos anteriores, debe estar fincada en normas, estándares y prácticas bien establecidas.

II.3.4.12.5 Ventajas y Limitaciones del Análisis de Árbol de Fallas

Ventajas

- Permite analizar problemas complejos, reduciéndolos finalmente a la estimación de probabilidad de fallas primarias.
- Permite incorporar tanto fallas de equipo y fallas humanas.
- Permite incorporar incertidumbre acerca de las probabilidades (analíticamente o a través de simulación).

Limitaciones

- Es difícil pensar al revés (de la falla a sus causas).
- Es difícil estar seguro de que el árbol está completo.
- Es difícil considerar eventos no independientes y fallas comunes.
- El tamaño del árbol de fallas crece rápidamente.

II.3.4.13 Análisis de consecuencias

II.3.4.13.1 Objetivos

Los objetivos del AC son los siguientes: identificar las posibles formas de progresión de eventos que involucren sustancias peligrosas y cuantificar tanto la magnitud como el alcance de sus efectos sobre las personas, el equipo y el ambiente. Los efectos evaluados son aquellos que se derivan de la toxicidad de las sustancias, de los problemas de sobrepresión y de los altos niveles de radiación térmica producidos por la combustión de materiales inflamables.



Un AC consta de siete etapas²⁶ a saber: una selección de los eventos indeseables que se deben analizar; la especificación de los escenarios; una determinación de la mecánica de liberación o de la exposición al material tóxico; la determinación de la dispersión del material; la cuantificación de las consecuencias sobre el entorno; la formulación de las recomendaciones y finalmente la documentación del análisis de consecuencia.

II.3.4.13.1 Selección de los eventos indeseables a analizar

Los eventos indeseados que involucran sustancias peligrosas son analizados mediante el análisis de consecuencias. La selección de eventos se hace a partir de los resultados del estudio HAZOP, del juicio del analista de riesgos o de la evaluación de un encabezado de un árbol de eventos.

II.3.4.13.2 Especificación de los escenarios

En esta etapa se recolecta información sobre las sustancias, el equipo y su configuración, así como detalles de las características del evento incluyendo aquellos que afectan al entorno como es la dirección de la fuga, la dimensión del orificio y las condiciones climatológicas, entre otros. También se identifican todas las posibles formas de evolución del evento, debido a que deben evaluarse por completo las posibles consecuencias. La información recolectada se emplea para realizar una simulación de los fenómenos físicos y determinar sus consecuencias.

La importancia de la determinación de las posibles formas de progresión de un evento radica en el hecho de que, normalmente, los eventos seleccionados no indican su estado final de evolución. Por ejemplo, el evento "fuga de gas tóxico e inflamable en cabezal de descarga" no presupone la existencia de un incendio, tampoco describe el tipo de incendio. Este evento puede progresar de muy distintas formas.

Puede ocurrir que el gas se empiece a quemar en los primeros instantes del evento, dando origen a lo que se conoce como un dardo de fuego (*jet fire*), y la consiguiente evaluación de los daños por radiación térmica; si el gas escapa y no se incendia inmediatamente, se puede formar entonces una nube e incendiarse posteriormente, dando como resultado una explosión de nube no confinada (*UVCE*, por sus siglas en inglés) o un incendio de nube (*flash fire*). En el primero de estos dos fenómenos, los efectos de sobrepresión son considerablemente superiores a los provocados por la radiación térmica y viceversa. Finalmente, si la nube no se incendia, entonces se tendrán que evaluar sus efectos puramente tóxicos.

26. Rea Soto, *ibidem*



II.3.4.13.1.3 Determinación de la mecánica de liberación o exposición del material

Una sustancia tóxica o inflamable implica un peligro si se libera al medio ambiente o las personas, equipos, etcétera pues quedan expuestos a sus efectos. En esta etapa se busca predecir, mediante modelos de dinámica de fluidos, a partir de las características del escenario, los parámetros que definen los detalles de la liberación.

Es importante determinar, entre otros parámetros, los que se refieren a la composición de fase, a la velocidad y al flujo de escape; así como también a la temperatura, la presión y el volumen específico. Los cálculos que se deben realizar en esta etapa son largos y repetitivos, por lo que es necesario emplear programas de cómputo.

II.3.4.13.1.4 Determinación de la dispersión del material

Una vez liberada la sustancia peligrosa, existe la posibilidad de que se forme una nube que se disperse en medida que avance. Por una parte, al viajar cubre mayores distancias, y por otra, a medida que viaja se diluye. La determinación de la dispersión del material se puede determinar calculando el perfil de concentración de la nube. Para conocer el alcance de concentraciones peligrosas, ya sea por su toxicidad o porque se pueden generar mezclas inflamables con el aire y encontrar fuentes de ignición. Para esta última contingencia se deben conocer los perfiles de la energía térmica y de la sobrepresión, suponiendo que ocurre la ignición de la mezcla inflamable.

De la misma forma que en la etapa anterior, los perfiles de concentración de la energía térmica y de la sobrepresión, se calculan empleando modelos de dispersión, de incendios y de explosiones.

II.3.4.13.1.5 Cuantificación de las consecuencias sobre el entorno

En esta etapa se estima el daño que el evento analizado podría infringir a personas, equipo y ambiente. Esto se hace a partir de los perfiles de la concentración, de la intensidad de la radiación y de la sobrepresión obtenidos en la etapa anterior; así como de la forma complementaria de evaluación: la relación magnitud-efecto. Las relaciones magnitud-efecto son reportes tabulares que asocian la intensidad de las variables, radiación, sobrepresión o concentración, con consecuencias conocidas de forma experimental y publicadas por diversos organismos internacionales, tales como el *American Petroleum Institute* y el Banco Mundial.



Para materiales tóxicos, y en forma adicional, se emplean los índices de toxicidad que publican diversas agencias de varios países, tales como los TLV (*Threshold Limit Values*) y el IDLH (*Immediately Dangerous for Life or Health*).

II.3.4.13.1.6 Emisión de recomendaciones

En esta etapa se genera una lista de acciones y mejoras enfocadas a prevenir y mitigar las consecuencias de los eventos analizados. Cuando es necesario, las recomendaciones se deben soportar con un conjunto de normas, estándares y prácticas recomendadas aplicables.

II.3.4.13.1.7 Documentación del análisis de consecuencias

En esta etapa se genera un reporte que contiene la siguiente información: un listado de los escenarios analizados, la descripción detallada de cada escenario, una memoria de las simulaciones y cálculos efectuados y la lista de todas las recomendaciones emitidas en el análisis de consecuencias.

II.3.4.13.2 Cuantificación de los Efectos: Modelos de Accidentes²⁷

Los accidentes de gran magnitud que pueden tener lugar en una industria están casi siempre asociados a la pérdida de contención de un producto tóxico o inflamable, generalmente un fluido. En función del estado del mismo y de sus características, puede producirse un incendio, una nube tóxica o inflamable, etc.

Si el escape es de líquido se formará una balsa, (en función de la disposición del terreno, existencia de cubetos, etc.), y habrá evaporación. Si el producto es combustible, puede tener lugar directamente un incendio del líquido vertido, o puede formarse una nube que podrá inflamarse si encuentra un punto de ignición, con la consiguiente explosión; ésta originará una onda de choque, la sobrepresión de la cual puede destruir otras instalaciones, provocando nuevos escapes (efecto "dominó"). Si el producto es tóxico, la nube formada puede simplemente dispersarse en la atmósfera (si es menos pesada que el aire o si las condiciones atmosféricas son favorables) o puede desplazarse a ras del suelo, con el consiguiente peligro para la población.

²⁷ Riesgo industrial: Análisis, cálculos y representación de consecuencias. Francisco González Cubero, Luis Moneo Peco, J. A. Vilchez, Xavier Pérez-Alavedra. Consejería de Tecnología, Industria y Comercio, Región de Murcia. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Marzo 2002. Zaragoza, España.



Si el escape es una mezcla de líquido y vapor, como suele suceder en el caso de los gases licuados a presión, es probable la formación de una nube más pesada que el aire, con las mismas consecuencias que en el caso anterior.

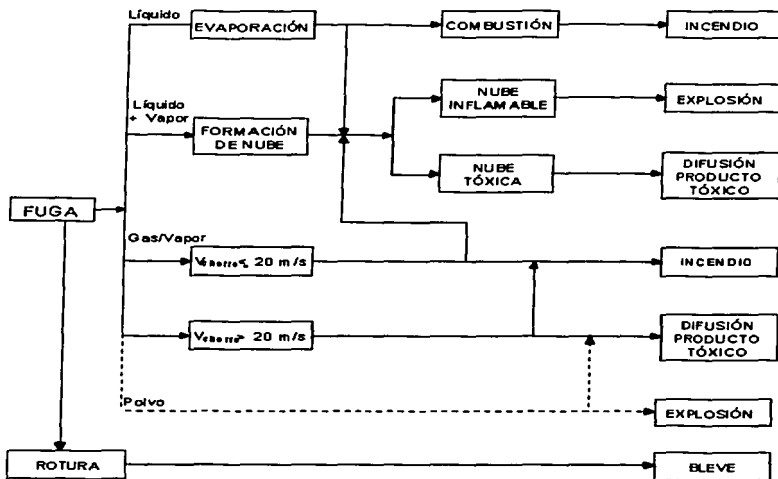
Hay que tener en cuenta que en un accidente pueden encontrarse simultáneamente los efectos de incendio, explosión, etc. (figura VIII). Así mismo, pueden ocurrir una serie de accidentes en cadena (efecto dominó). La magnitud de las consecuencias de un determinado accidente dependerá de una serie de factores (inventario, energía contenida en el sistema, tiempo que dura el accidente, grado de exposición) que deberán ser contemplados en el análisis de riesgos.

Mediante modelos de cálculo podemos evaluar los siguientes escenarios accidentales:

- Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico:
 - Incendio de charco (*POOL FIRE*).
 - Llamorada (*FLASH FIRE*).
 - Dardo de fuego (*JET FIRE*).
 - *BLEVE* o Bola de fuego (*FIREBALL*).

- Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico:
 - Explosión de nube inflamable no confinada (*UVCE*).
 - Explosión confinada de vapores (*CVÉ*).
 - 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 influencia de manera destacada la evolución de la nube en los primeros momentos).

Figura VIII. Comportamiento de una Fuga.²⁸

II.3.4.13.2.1 Tipos de eventos

A continuación se describirán los tipos de eventos que pueden ocurrir como resultado de la descarga de un líquido presionado, un líquido no presurizado y de un vapor o gas presurizado.

Pool Fire. Cuando un líquido inflamable se fuga de un tanque de almacenamiento o una tubería, se forma una alberca o charco. Al estar formándose el charco, parte del líquido se comienza a evaporar siempre y cuando los vapores se encuentran sobre su límite inferior de inflamabilidad y con una fuente de ignición se forma un incendio del charco, mientras se encuentran los vapores.

28. Cubero, *ibidem*.



Flash Fire. Cuando un material volátil e inflamable es descargado a la atmósfera, se forma una nube de vapor y se dispersa. Si el vapor resultante se encuentra con una fuente de ignición antes de que la dilución de la nube sea menor al límite inferior de inflamabilidad, ocurre el flash fire. Las consecuencias primarias de un flash fire son las radiaciones térmicas generadas durante el proceso de combustión, este proceso tiene una corta duración y los daños son de baja intensidad.

Jet Fire. Si un gas licuado o comprimido es descargado de un tanque de almacenamiento o una tubería, el material descargado a través de un orificio o ruptura formará una descarga a presión del tipo chorro "Gas Jet", que entra y se mezcla con el aire del medio ambiente. Si el material entrara en contacto con una fuente de ignición, entonces ocurre un Jet Fire o fuego de chorro.

Fireball El evento de Fireball o bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor inflamable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. El evento de fireball ocurre frecuentemente seguido a una Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición "BLEVE".

Explosión. Una explosión es una descarga de energía que causa un cambio transitorio en la densidad, presión y velocidad del aire alrededor del punto de descarga de energía. Existen explosiones físicas, que son aquellas que se originan de un fenómeno estrictamente físico como una ruptura de un tanque presurizado o una BLEVE. El otro tipo de explosiones es la química, son las que tienen su origen en una reacción química como la combustión de un gas inflamable en el aire.

BLEVE. Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición "BLEVE", ocurre cuando en forma repentina se pierde el confinamiento de un recipiente que contiene un líquido sobrecalentado o un licuado a presión. La causa inicial de una BLEVE es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente sobre el nivel del líquido, esto hace fallar el material y permite la repentina ruptura de las paredes del tanque.

Una BLEVE puede ocurrir como resultado de cualquier mecanismo que ocasione la falla repentina de un recipiente y permita que el líquido sobrecalentado flashee. Si el material líquido/vapor descargado es inflamable, la ignición de la mezcla puede resultar en un fireball.

VCE. Explosión por una Nube de Vapor "VCE", puede definirse simplemente como una explosión que ocurre en el aire y causa daños de sobrepresión. Comienza con una descarga de una gran cantidad de líquido o gas vaporizado de un tanque o tubería y se dispersa en la atmósfera, de toda la masa de gas que se dispersa sólo una parte de esta se encuentra dentro de los límites superior e inferior de explosividad, y esa masa es la que después de encontrar una fuente de ignición genera sobrepresiones por la explosión. Este evento se puede generar tanto en lugares confinados como en no confinados.



Nube Tóxica. En los casos en que una fuga de material tóxico no sea detectada y controlada a tiempo, se corre el riesgo de la formación de una nube de gas tóxica que se dispersará en dirección de los vientos dominantes, y su concentración variará en función inversa a la distancia que recorra. Los efectos tóxicos de exponerse a estos materiales dependen de la concentración del material en el aire y de su toxicidad.

II.3.4.13.3 Cuantificación de los Daños: Modelos de Vulnerabilidad

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. 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 de fragmentos contra el cuerpo.
 - Por heridas ocasionadas por astillas de vidrio.
- Productos tóxicos: intoxicación de moderada a grave, muerte por intoxicación.

Las consecuencias sobre el equipo pueden deducirse de valores tabulados (caso de las ondas de choque) o de determinados modelos semiempíricos (caso de la radiación térmica). Finalmente, las consecuencias sobre el entorno, que en algunos casos pueden aparecer a medio o largo plazo, hay que estimarlas con modelos de tipo más cualitativo.

Los Estudios de Seguridad suelen centrar los cálculos de consecuencias en la estimación del alcance de tres magnitudes físicas peligrosas fundamentales: radiación térmica (kW/m^2), sobrepresión (mbar) y concentraciones tóxicas (ppm ó mg/m^3). Los umbrales habitualmente utilizados para establecer los daños se recogen en la siguiente tabla (Tabla 7).



Fenómenos Peligrosos	Variables Físicas Peligrosas	Umbral Peligroso
De tipo térmico	Radiación térmica (kW/m ²)	40.- Destrucción equipos / tanques. 12.5.- Ignición de recubrimientos, plásticos. Extensión del incendio. 5 Máx.- Soportable por personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado. Zona de intervención con un tiempo máx. de exposición de 3 min. 3.- Zona de Alerta. 1.5 Máx.- Soportable por personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado.
De tipo mecánico	Ondas de presión: - Sobrepresión (mbar) - Impulso mecánico (mbar*s) - proyectiles	(mbar) 1000.- Umbral de letalidad (1% afectación) por efectos directos de la sobrepresión sobre el cuerpo humano. 700.- Demolición casi total de edificios. 400.- Demolición casi completa de casas. 250.- Rotura de tanques. Daño de maquinaria industrial pesada. Distorsión de estructuras y cimientos. 125.- Dislocación/colapso de paneles, paredes y techos. Zona de intervención. 50.- Daños estructurales de pequeña magnitud en casa. Zona de alerta. 10.- Rotura de vidrios.
De tipo químico	Concentración con efectos tóxicos agudos (efectos evidentes sobre la salud en un corto periodo de tiempo)	Concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y la Salud para una exposición de 30 min. (IDLH en ppm ó mg/m ³). Zona de Intervención. El valor umbral varía para cada sustancia. En caso de exposiciones menos prolongadas cabe corregir el umbral utilizando el concepto de "dosis equivalente": IDLHn x 30 min= Cn x t

Tabla 7. Estimación del Alcance de Magnitudes Físicas Peligrosas.²⁹

II.3.5 Usos del análisis de riesgos³⁰

Las técnicas de análisis se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio ambiente (figura IX), incluyendo:

- La introducción o el descubrimiento de una sustancia en el ambiente.
- La exposición ocupacional a una sustancia o radiación.
- Contaminación del aire, tanto en espacios interiores como en el ambiente exterior.
- Disposición de residuos peligrosos.
- Instalaciones que manejan o crean sustancias tóxicas.
- El análisis de riesgos también se puede aplicar a muy diferentes situaciones, por ejemplo, el riesgo asociado al uso de un producto farmacéutico o tratamiento médico, a la construcción de obras tales como presas y puentes, etc.

29. Cubero, *ibidem*

30. Redminera, *ibidem*

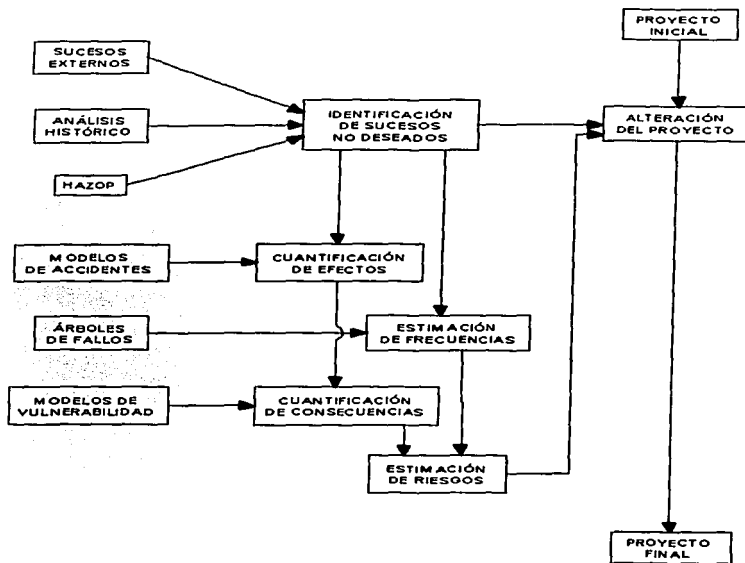


Figura IX. Metodología de Análisis de Riesgos.³¹

II.3.6 Selección de la técnica de análisis

Se aplican los métodos teóricos y prácticos de identificación y evaluación de riesgos, dependiendo de la materia objeto de estudio, es decir, una instalación existente o un proyecto de inversión. Después de saber que todas las técnicas de análisis coinciden en metodología y resultados ¿cómo se puede saber cuál es la que se necesita? y ¿cuál dará resultados más satisfactorios, reales y completos? Por ello es necesario plantear que alcances se quieren tener del estudio, esto en función de los objetivos del proyecto de análisis que realicemos.

31. Cubero, *ibidem*.



Debemos contar con la identificación y evaluación de todos los riesgos, estudio de alguna clase de riesgo en particular, conocer la cadena de sucesos que se generen por determinado accidente, señalar las áreas de mayor riesgo, establecer jerarquías de riesgos. También es necesario saber con que información se cuenta, pues cada técnica requiere información del proceso, etc.

Se deben conocer las características del proceso para identificar que tipo de análisis convendría, pues cada industria es diferente por lo que se debe usar un análisis determinado. Se pueden utilizar métodos equivalentes, sin embargo la técnica utilizada debe siempre ser seleccionada, basada en la complejidad del proceso y el objetivo del análisis.³²

Toda la información obtenida tanto por el personal del proyecto, como el de operación, mantenimiento y seguridad de la planta, dará una profundidad de conocimientos sobre su equipo y procesos que de otra manera sería muy difícil de lograr. Además, permitirá óptimos procedimientos de operación, planes de arranque y paro de emergencia, sistemas de entrenamiento, programas de mantenimiento, etc. De lo anterior, dependerá mas adelante y en gran medida la seguridad del proceso. Su selección se realiza según los siguientes criterios:

Criterio	Descripción
Objeto	Lo que busca
Herramienta	Lo que utiliza
Resultados	Como se requiere el resultado: lista, porcentaje, índice de riesgos, gráfica, etc.
Naturaleza	Cuantitativos o Cualitativos
Personal	Especialista, experiencia y multidisciplinario

Tabla 8. Criterios para seleccionar la técnica de análisis.

11.3.7 Importancia del análisis de riesgos y peligros

Los recientes accidentes mayores relacionados con nubes de vapor, explosiones y bolas de fuego, han intensificado los esfuerzos de la industria dirigidos a entender y manejar este tipo de riesgo. La aplicación de la técnica del análisis de riesgos, requiere del modelaje de las consecuencias de tales escenarios de accidentes.

32. AIChE, *ibid*



Por ello, ya se hace obligatorio, la necesidad de hacer un estricto análisis de todos los posibles riesgos que se podrían generar en un área de trabajo peligroso, peligroso por las cantidades de materias primas y productos que se usan a condiciones extremas, como lo es en la industria de la refinación. Con el fin de prevenir el accidente o estar alerta de un posible accidente, ya que es imposible evitarlo al 100%, pues estos dependen de innumerables combinaciones de tiempo, modo y lugar.

Aquí reside la importancia de los análisis de riesgos y peligros en las industrias de refinación, petroquímicas, y en todas las industrias químicas en general, pues es necesario manejar las sustancias químicas de manera segura y confiable. Pues en estos análisis: se investiga la posible desviación de la operación normal de un determinado proceso, se cuestiona las desviaciones de las condiciones de temperatura, presión, flujo, viscosidad, etc. Se buscan las causas posibles que pueden aumentar o disminuir el calor que se debe tener en el proceso; se investigan las causas que pueden alterar la concentración de las sustancias en relación de la composición de la mezcla original; se determinan las causas que pueden provocar la introducción de sustancias en un estado físico ajeno al proceso. Así como también cumplen con el fin de:

- Decir cuando iniciar la operación
- Interrumpir la operación
- Someter a mantenimiento

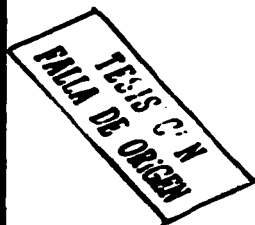
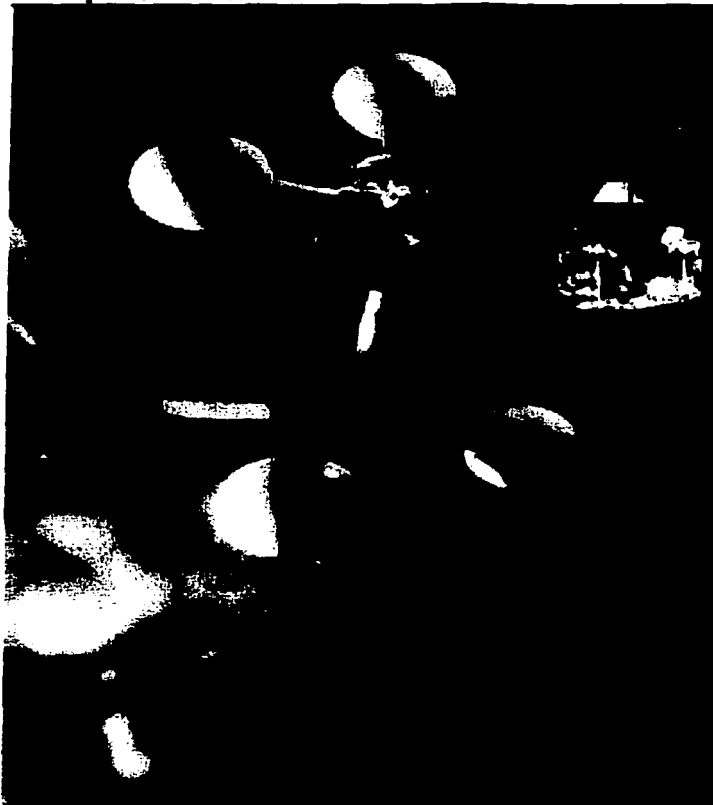
Estas evaluaciones ayudan a evitar por completo el riesgo, a mitigar la gravedad del riesgo o disminuir la probabilidad de ocurrencia de estos. En las industrias petroleras, de gas, petroquímica entre otras. Los propietarios, diseñadores, operadores y/o los encargados del mantenimiento reciben, aplican y ponen en marcha las recomendaciones que resultan de la técnica de análisis de riesgos, proporcionando así la seguridad del proceso.

PEMEX-Refinación y la UNAM-Facultad de Química han estado colaborando para la realización de análisis de riesgos en las refinerías del país, a fin de evaluar e identificar las zonas de riesgos, ya que las sustancias que se manejan en el proceso son combustibles propensos a derramarse o fugarse por los equipos más críticos, como calentadores o torres, donde se opera a elevadas condiciones de temperatura y presión. Para ello se elaboran análisis con el fin de evaluar las áreas críticas de riesgo, para proponer las posibles soluciones y así poder aportar información para disminuir, reducir y evitar los accidentes e incidentes probables. Ya que para este tipo de técnicas, debe minimizarse la gravedad y probabilidad de que sucedan los accidentes, desde el diseño del proceso y durante su etapa de operación normal.

Capitulo III



Descripción
de la planta
primaria



Facultad de Química





Capítulo III DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA PRIMARIA

III.1 Generalidades de la refinación^{24, 25}

Las modernas operaciones de una refinería son muy complejas, que para una persona no familiarizada con la industria, sería una tarea imposible reducir tal complejidad a un conjunto coordinado de procesos comprensibles.

El visitante que penetra por primera vez en el recinto de una refinería queda sorprendido, en primer lugar, por la importancia y complejidad de las unidades y en segundo lugar, por el aspecto estático del conjunto y la ausencia aparente de personal, produciendo en su espíritu una impresión de misterio. Del mismo modo, quien intenta iniciarse en las técnicas del petróleo queda siempre asombrado por el carácter de multiplicidad de los diferentes elementos inherentes a esta industria. Ya se trate de la materia prima, del petróleo crudo, que contiene un número prácticamente infinito de constituyentes, o de la gama tan variada de los productos acabados, o incluso, de la diversidad de las técnicas de elaboración, la refinación se presenta bajo todos estos aspectos como un arte complejo, cada una de cuyas especialidades exige, para su desarrollo, estar en buena armonía con su vecindad. Bajo este aspecto, la refinación se relaciona estrechamente con las relaciones humanas, en el sentido de ser, ante todo, una ciencia de compromiso entre imperativos diversos y a menudo contradictorios. La refinación tiene como objetivo el satisfacer la demanda cuantitativa y cualitativa de un consumo de energía cada día más exigente. En estas condiciones, los tiempos de amortización del material deben ser muy cortos y la investigación de procesos nuevos y la mejora de rendimientos constituyen un objetivo permanente.

La industria de la refinación pone en marcha técnicas de separación y de transformación que permiten producir, a partir de petróleo crudo, una serie completa de productos comerciales desde gases hasta grasas y asfaltos. El ordenamiento lógico de las diferentes operaciones de tratamiento del crudo constituye el esquema de fabricación cuya elaboración exige el conocimiento preciso de los siguientes elementos:

- Característica de los productos acabados o especificaciones.
- Composición de los petróleos crudos y de los petróleos acabados.
- Propiedades físico-químicas de los hidrocarburos y de las fracciones del petróleo.
- Técnicas de separación y transformación.

1. Snoeck, Michele. La industria de refinación en México, 1970-1988. El Colegio de México, 1989.
2. Gary, J. H. Handwerk, G. E. Refino de Petróleo. Editorial Reverte, S. A. 1980.



III.2 Condiciones de operación extremas en los procesos de refinación del petróleo.

Esta es la etapa donde es la mayor importancia hacer una estimación correcta de las medidas de control protector, como parte del tratamiento de medidas preventivas potenciales, las variables de condiciones extremas más utilizadas en la industria petrolera son:

- **Baja presión**

Cuando los procesos operan a presión atmosférica o al vacío (condiciones subatmosféricas), el aire o contaminantes pueden entrar al sistema de proceso.

Si el aire o los contaminantes que entran al sistema reaccionan con materiales allí presentes pueden producir una condición riesgosa, el caso del manejo de diolefinas (dioxano) donde hay el peligro de formación de peróxido y polimerización catalítica subsiguiente.

Los procesos que operan a presión atmosférica (definida como ± 0.5 Psig) o al vacío (hasta un diferencial de 600 mmHg) con materiales inflamables, presentan un gran peligro por el riesgo de explosión originado por la entrada de aire al sistema, por ejemplo sistemas colectores de hidrógeno, destilación a vacío parcial de líquidos inflamables, los procesos que operan a más alto vacío (diferencial superior a 600 mmHg) con materiales inflamables, presentan un riesgo menor.

- **Alta presión**

Donde se opera una unidad a una presión más alta que la atmosférica se está expuesto a un riesgo mayor de fuego y de explosión interna. Los riesgos de fuego se aumentan si se aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión interna que sobrepresionará alguna parte de unidad.

- **Baja temperatura**

El propósito de este análisis es tomar en cuenta la posible fragilización de unidades de acero al carbón al ser operadas a una temperatura igual o menor a la de transición. Sin embargo, si las pruebas muestran que el acero al carbón se encuentra sobre su temperatura de transición el riesgo es menor.

Ejemplo de condiciones de operación de baja temperatura es cuando se usa acero al carbón normal para la construcción de equipos de las plantas de proceso y las temperaturas normales de operación oscilan entre 10°C y -10°C.

Donde se usa acero al carbón a temperaturas de operación por debajo de -25°C.

- **Alta temperatura**

La operación a alta temperatura presenta un efecto doble: primero aumenta los riesgos inherentes al manejo de materiales inflamables y segundo la resistencia del equipo de planta se puede ver afectado negativamente.



Los efectos de la alta temperatura en los riegos del material dominante presente son mayores cuando el material es un líquido inflamable, pero también son significantes con gases y vapores inflamables.

Los eventos que pueden generar riesgos por las altas temperaturas son:

1. Cuando un líquido o sólido inflamable este arriba de su punto de flasheo.
2. Si el material dominante está en fase líquida a una temperatura arriba de su punto de ebullición a 760 mmHg, esto mismo se aplica al caso de gases licuados inflamables presentes en la sección como un líquido.
3. Si el material es un sólido a temperatura normal, pero se presenta en la unidad en fase líquida.
4. Si el material (ya sea su estado normal gas, líquido o sólido) se maneja arriba de su temperatura normal de Auto Ignición.
5. Si la temperatura es tal que el material (metales, plásticos, plomo, etc.) usados para construir los equipos de la planta se opera bajo condiciones de esfuerzo longitudinal o progresivo.
6. Si la temperatura de operación esta en el rango donde la resistencia permisible del material de construcción se reduce en un 25% o más por un aumento en la temperatura de 50°C.

• **Altos efectos de corrosión / erosión**

Bajo estas condiciones se consideran los riesgos debido a altos efectos de corrosión / erosión, tanto interna como a la externa.

Se debe vigilar la influencia de impurezas menores en la corrosión o erosión producida por el fluido del proceso y también la corrosión externa producida por la calda de la pintura o por líquidos contaminantes en el recubrimiento que se concentran evaporándose. Cuando la planta se construye con revestimientos resistentes (plásticos ladrillos, hule, metales recubiertos, etc.) los efectos del resquebrajamiento en los agujeros para espigas, uniones con cemento, soldaduras contaminadas, etc., se deben tomar en cuenta en todos los problemas de corrosión. Igualmente se deben revisar los efectos de la corrosión de sub-productos normalmente producidos cuando la reacción deseada se inhibe o se modifica.

• **Riesgos de juntas y empaques**

Una unidad de proceso puede contener partes donde el sellado de juntas o flechas se efectúe. Estas partes pueden causar problemas, particularmente donde se tienen ciclos de temperaturas y de presión.

• **Riesgos de vibración y de fatiga por carga cíclica.**

Algunos tipos de operaciones tales como unidades de compresión, presentan vibraciones en equipos asociados y tuberías. Efectos similares en un periodo más largo de tiempo se pueden producir en un equipo donde las condiciones de temperatura y presión varían cíclicamente dentro de un rango razonable. Ambas situaciones introducen riesgos de fatiga en equipo que intensifican el riesgo de la sección.



III.3 Tipos de petróleo³

Son miles los compuestos químicos que constituyen el petróleo, y entre muchas otras propiedades, estos compuestos se diferencian por su volatilidad (dependiendo de la temperatura de ebullición). Al calentarse el petróleo, se evaporan preferentemente los compuestos ligeros (de estructura química sencilla y bajo peso molecular), de tal manera que conforme aumenta la temperatura, los componentes más pesados van incorporándose al vapor.

Las curvas de destilación TBP (del inglés "true boiling point", temperatura de ebullición real) distinguen a los diferentes tipos de petróleo y definen los rendimientos que se pueden obtener de los productos por separación directa. Por ejemplo, mientras que en el crudo Istmo se obtiene un rendimiento directo de 26% volumétrico de gasolina, en la Maya sólo se obtiene 15.7%.

La industria mundial de hidrocarburos líquidos clasifica el petróleo de acuerdo a su densidad API (parámetro internacional del Instituto Americano del Petróleo, que diferencia las calidades del crudo). Tabla 9.

Aceite Crudo	Densidad (g/cm ³)	Densidad grados API
Extrapesado	>1.0	10.0
Pesado	1.0 – 0.92	10.0 – 22.3
Mediano	0.92 – 0.87	22.3 – 31.1
Ligero	0.87 – 0.83	31.1 – 39
Superligero	< 0.83	> 39

Tabla 9. clasificación del petróleo

En México se preparan tres variedades de petróleo crudo para exportación:

- ▶ Olmeca. Superligero con densidad de 39.3 grados API y 0.8% de azufre en peso.
- ▶ Maya. Pesado con densidad de 22 grados API y 3.3% de azufre en peso.
- ▶ Istmo. Ligero con densidad de 33.6 grados API y 1.3% de azufre en peso.

El petróleo se separa en fracciones que después de un procesamiento adicional, originan los productos principales que se venden en el mercado: el gas LP (utilizado en estufas domésticas), gasolina para los automóviles, turbosina para los aviones jet, diesel para los vehículos pesados y combustible para el calentamiento en las operaciones industriales.

3. <http://imp.com/>



Las características del crudo, así como la cantidad y calidad de productos que se desean obtener determinan los procesos que deben incorporarse en la refinación:

- ▶ La mayor parte de los productos obtenidos en el proceso de destilación primaria se someten a hidrot ratamiento para eliminar principalmente azufre y nitrógeno.
- ▶ Para la generación de las gasolinas se incorporan procesos como reformación catalítica, síntesis de éteres (MTBE y TAME), alquilación e isomerización de pentanos-hexanos, balanceados de tal forma que la mezcla resultante cumpla con la especificación establecida.
- ▶ Los gasóleos de vacío se someten a desintegración catalítica fluida para generar mayor cantidad de destilados ligeros, principalmente gasolina.
- ▶ El residuo de vacío puede también someterse a hidrodesintegración o a coquización para aumentar el rendimiento de destilados, o a procesos de hidrot ratamiento o reducción de viscosidad para generar combustóleo.

Existen muchas operaciones en los procesos de la industria del petróleo basadas en la separación física de componentes aprovechando diversos principios. Una de estas operaciones es la destilación que permite la separación o fraccionamiento de los componentes de una mezcla en función de sus temperaturas de ebullición, aprovechando las diferencias de volatilidad de los mismos. La sencillez del procedimiento y su precio relativamente módico la convierte en la operación básica de los procesos de elaboración de productos químicos y petrolíferos, por lo que en las refinerías, así como en las fabricas petroquímicas, abundan las torres de destilación, ya sea en las operaciones de preparación de carga, previas a la reacción, ya sea en las de fraccionamiento del producto después de la misma.

La mayoría de las torres de destilación empleadas en la industria del petróleo y en las industrias químicas y petroquímicas funcionan en continuo. La carga que las alimenta es de composición, caudal y temperatura constante. El destilado o producto de cabeza y el residuo o producto de fondo, son igualmente de composición, caudal y temperatura constantes. Esta característica es válida para cualquier punto de la unidad. Solo la presión varía ligeramente entre la cabeza y el fondo, como consecuencia de la pérdida de carga debida a los platos o al empacado, pero en primera aproximación, se puede considerar constante a todo lo largo de la torre.

Destilación inicial del petróleo crudo⁴ consiste en fraccionar el crudo en una serie de cortes (fracciones) elementales: gas, gasolina ligera, gasolina pesada, queroseno, gas oil, y residuo atmosférico. Generalmente, se suele realizar la separación en una columna única, que funciona bajo una presión ligeramente superior a 1 atm. y que posee extracciones laterales.

4. Wuthier, Pierre El petróleo refinado y tratamiento químico. IFP., Tomo I. Ediciones CEP SA S. A. 1971.



Las columnas de crudo son las unidades de mayor tamaño en la refinería. Se utilizan para separar el crudo de petróleo en fracciones de acuerdo con su punto de ebullición, por lo que cada una de las siguientes unidades de proceso tendrá materias primas que satisfagan sus especificaciones particulares. Se consiguen las mayores eficiencias y los costos más bajos si la separación del crudo del petróleo tiene lugar en dos etapas: primero fraccionando la totalidad del crudo de petróleo esencialmente a la presión atmosférica; luego, alimentando la fracción de los residuos de punto de ebullición mas alto (crudo de fondos) de la columna a presión atmosférica a un segundo fraccionador operando a alto vacío.

La columna de vacío se emplea para separar la porción mas pesada del crudo en fracciones, ya que las altas temperaturas necesarias para vaporizar el crudo de fondos a la presión atmosférica darían lugar al craqueo térmico, con la consiguiente pérdida de gas seco, decoloración del producto y ensuciamiento del equipo debido a la formación de coque.

Unidad a presión atmosférica.

Si el contenido en sal del crudo de petróleo es superior a 10 lb de NaCl/1000 bl de crudo, el crudo precisa un desalado para minimizar el ensuciamiento y la corrección debidas al depósito de sal sobre las superficies de transmisión de calor y a los ácidos formados por la descomposición de los cloruros. Además, en el proceso de desalado se eliminan parcialmente algunos metales que pueden dar lugar a la desactivación de catalizadores en las unidades de proceso catalítico.

Destilación al vacío.

La destilación al vacío se reserva para cuando se quiere fraccionar productos que contienen hidrocarburos pesados cuyas temperaturas de ebullición son superiores a las de cracking, o para destilar productos nobles que se podrían alterar sus características si se les calentase de nuevo. Así, en una refinería, se tiene la redestilación de los aceites después de tratamientos con disolventes, la redestilación de gasolinas especiales y para preparar la carga de cracking térmico al extraer un gasoleo de vacío, a partir del residuo atmosférico.

III.4 Descripción de la empresa.

La refinería de Tula procesa el 24.4% de crudo total que se refina en México. La zona de influencia de la refinería resulta particularmente importante, ya que provee al Valle de México y zonas aledañas.



La Refinería "Miguel Hidalgo" nace con una tecnología de punta. Fue la primera planeada en forma integral con plantas de proceso de hidrocarburos de alta capacidad. Como parte de esta planeación integral se construyó la Refinería en varias etapas.

La primera etapa se inauguró el 18 de Marzo de 1976 con la puesta en operación de la planta Combinada No. 1 con una capacidad nominal de 150,000 BPD (actual de 160,000 bpd). En noviembre del mismo año se puso en funcionamiento la planta de Desintegración Catalítica No. 1, para obtener compuestos de mayor valor en el mercado a partir de los gasóleos de vacío.

En julio de 1977 arranca la planta Hidrodesulfuradora No. 1 con una unidad de hidrodesulfuración de naftas y dos unidades hidrodesulfuradoras de destilados intermedios y para octubre inicia la operación de la planta Reductora de Viscosidad con una capacidad nominal de 41,000 BPD, dos trenes de recuperación de azufre, un área de Fuerza y Servicios Auxiliares con dos turbogeneradores de 25 megawatts-hora por día, un sector de Bombeo y Almacenamiento con una capacidad total de almacenamiento de 5'935,000 barriles y, acorde a las políticas de protección del medio ambiente de la empresa, se pone en marcha el Sector de Tratamiento de Efluentes.

En noviembre de 1987 inició la segunda etapa con la operación de las plantas de Destilación Atmosférica No. 2 y Vacío No. 2; además se amplió el sector de Bombeo y Almacenamiento en más del 52% alcanzando una capacidad máxima de 12,475,000 barriles. También se amplía la capacidad del sector de Fuerza y Servicios Auxiliares hasta 1,000 ton/d de generación de vapor y 82 megawatts-hora por día de energía eléctrica.

En 1992 dicho organismo se divide en cuatro empresas, de las cuales la Unidad Petroquímica Tula depende de la Dirección PEMEX - Petroquímica hasta febrero de 1997, ya que a partir de marzo de este año, queda constituida como una empresa de participación estatal mayoritaria, definiéndose su actual Razón Social: Petroquímica Tula, S.A. de C.V. y continuando sus operaciones comprometida con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad motor imprescindible para su desarrollo.

En agosto de 1993 se instalaron las plantas Hidrodesulfuradora No. 2 contando con una unidad de hidrodesulfuración de Naftas y dos hidrodesulfuradoras de Destilados Intermedios, en conjunto con dos trenes de Recuperación de azufre.

Inicia en 1994, operaciones la planta de Desintegración Catalítica No. 2 para que, por medio de calor y catalizador, se desintegren los gasóleos de vacío en compuestos de menor peso molecular.

En 1996 se incorporan, como parte del paquete ecológico. Las plantas de Metil Terbutil Eter (MTBE), Teramil Metil Eter (TAME), la planta de Alquilación, de Isómeros de Pentanos y Hexano, la H-oil y la de



Diesel Profundo (HDD) que contribuyen a obtener una gasolina de alta calidad. Con objeto de satisfacer la demanda de asfalto AC-20 que tiene la Secretaría de Comunicaciones, se inauguró la planta de Mezclado y Llenado de Asfaltos.

Es así como la Refinería de Tula ha logrado convertirse en la más importante del país por su capacidad instalada y la porción del mercado que controla. Aunado a lo anterior, el área de influencia abarca: la zona metropolitana y los estados de: México, Hidalgo, Morelos, Querétaro y parte de Guanajuato.

III.4.1 Capacidad de refinación.

El crudo que se procesa en la refinería es una mezcla de crudo Istmo (70%) y Maya (30%) mezcla que se obtiene de petróleo proveniente del Sur y Sureste mexicano, incluyendo la zona de Campeche.

El crudo del sistema de suministro es bombeado desde Nuevo Teapa, Tabasco, hasta Venta de Carpio, Estado de México de donde es rebombeado hasta la refinería. Se cuenta con una ruta alternativa de suministro de crudo desde Nuevo Teapa hasta Poza Rica, Veracruz y de ahí a la refinería.

La refinería de Tula cuenta actualmente con una capacidad de 325,000 BPD. El área productiva está integrada por 10 sectores de proceso que incluyen plantas de proceso, plantas ecológicas, sistema de bombeo y almacenamiento de productos, y un sector de servicios auxiliares.

Misión

Contribuir al progreso de México proporcionando productos petrolíferos de calidad certificada, mediante la transformación eficiente y segura del petróleo, y la protección esmerada del ambiente con el esfuerzo, orgullo y creatividad de sus trabajadores.

Visión

Ser una empresa competitiva en el mercado mundial de petroquímicos, comprometiéndose a ser líder en todos los aspectos relativos a la Seguridad Industrial y Protección Ambiental.



III.4.2 Proceso de refinación.

El petróleo crudo se alimenta a dos plantas primarias en donde es fraccionado mediante destilación atmosférica y a vacío; de ahí se obtienen productos destilados amargos tales como: gasolina ligera, turbosina, kerosina, diesel, gasoleo pesado primario, gasoleo ligero y pesado de vacío y residuo de vacío.

El residuo de vacío es procesado en la planta Reductora de Viscosidad, logrando un ahorro sustancial al disminuir la cantidad de diluentes. Adicionalmente se obtiene gas y gasóleos amargos.

La gasolina obtenida en el proceso de destilación primaria, contiene una cantidad considerable de hidrocarburos ligeros; éstos son separados y recuperados en dos plantas Estabilizadoras de Gasolina, evitando pérdidas de evaporación de hidrocarburos y contribuyendo a mantener el entorno ecológico. Los productos obtenidos en estas plantas son: gasolina estabilizada, gas licuado y gas combustible.

El siguiente proceso a las gasolinas se hace en las plantas Hidrodesulfuradoras de Gasolina. El proceso de hidrodesulfuración consiste en la eliminación de contaminantes tales como: azufre, oxígeno, nitrógeno y metales mediante una hidrogenación catalítica. Adicionalmente se cuenta con las plantas Hidrodesulfuradoras de Destilados intermedios. En estas se alimentan turbosina, kerosina, diesel, gasoleo pesado primario, aceite cíclico ligero, gasoleo ligero y pesado de vacío. Se obtiene además de los productos desulfurados, gas ácido, gas licuado amargo y gasolinas pesadas.

La gasolina desulfurada se procesa en dos plantas Reformadoras de Naftas, que tienen una capacidad de 30,000 y 35,000 BPD respectivamente. El objetivo de este proceso es incrementar el índice de octano de la gasolina PEMEX Magna. En estas plantas se obtiene también el hidrógeno necesario para los procesos de hidrodesulfuración de gasolina y de destilados intermedios; obteniendo además gas combustible y gas licuado.

Adicionalmente en ambas plantas se han instalado las unidades de Regeneración Continua de Catalizador (CCR's), las que permiten corridas de dos años de operación continua.

La mezcla de los gasóleos pesado primario, ligero de vacío y pesado de vacío, que son obtenidos de los procesos de destilación atmosférica y a vacío, es enviada como carga a las plantas de Desintegración Catalítica de Lecho Fluidizado (FCC's). Los productos que aquí se obtienen son: gasolina catalítica con Índices de octano 92 RON1 y 78 MON2 (base para PEMEX Magna), propano, propileno (enviado a la planta de acrilonitrilo), butano-butileno, gas ácido, aceite cíclico ligero y aceite decantado.



El butano-butileno obtenido en las plantas catalíticas es enviado a la planta Metil Terbutil Eter (MTBE) y la gasolina catalítica se envía a la planta Teramil Metil Éter (TAME). Ambas plantas contribuyen al mejoramiento de la calidad de las gasolinas reduciendo el contenido de aromáticos.

La refinería suministra la totalidad de la turbosina empleada en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México y está orgullosamente certificada con la norma ISO-9002 por el Instituto Mexicano de Normalización y Certificación.

La refinería "Miguel Hidalgo" tiene hoy una capacidad nominal de 325,000 BPD de petróleo crudo, siendo su función principal refinar el petróleo crudo para obtener productos comercializables, destacando:

COMBUSTIBLES	SUBPRODUCTOS	ESPECIALIDADES
o Gas licuado	o Hidrógeno	o Gas nafta
o Pemex Magna Oxigenada	o Gas combustible	o Hexano
o Pemex Magna	o Propileno	o Aceite decantado
o Pemex Nova	o Propano	
o Gasolina incolora	o Butano-Butileno	
o Turbosina	o Iso-butano	
o Diáfano	o Isopentano	
o Pemex Diesel	o Gasóleo industrial	
o Combustóleo ecológico	o Azufre	

III.5 Datos de proceso y actualización de diagramas

Los datos de proceso y planta deben permitir al analista acercarse al análisis cuantitativo, con una comprensión a fondo de los procesos químicos específicos bajo estudio y las instalaciones en la que ocurren. Esta categoría de datos cubre un muy amplio rango de áreas específicas en las que deben recopilarse las necesidades de información. La CCPS recomienda que la recopilación de información del proceso y de la planta se haga a través de entrevistas e inspección. Las áreas en la que la información debe ser recopilada incluyen:

Información del proceso

- Químico
- Diagramas de flujo
- Bases de diseño
- Servicios

Información de la planta



- Planos de distribución
- Especificaciones de equipo, materiales de construcción y planos detallados
- Diagramas de tubería e instrumentación
- Planos de agua para combatir incendios y drenajes
- Sistemas para el tratamiento de residuos
- Propiedades materiales
- Lógica de control

Fuentes de incendio

- Características materiales y potenciales de energía
- Fuentes eléctricas
- Superficies peligrosas
- Efectos de impacto

Operación y mantenimiento

- Instrucciones de operación
- Filosofía de operación
- Equipo de seguridad
- Filosofía y programa de mantenimiento
- Registro histórico de incidentes y mantenimiento

Para poder representar el proceso físico-químico, se utilizan los diversos tipos de diagramas:

Diagrama de bloques de proceso: indica mediante bloques las etapas clave del proceso, tanto de reacción química como de separación. Se dibujan como rectángulos los bloques que representan el tipo de operación (química o física) de cada sección de la planta. Los cuales están conectados entre sí por flechas, que indican la secuencia del flujo y contienen las condiciones de operación generales como: temperatura, presión y fluido de la corriente por operación unitaria.

Diagramas de flujo de proceso (DFP): Representa los detalles considerablemente mayores del proceso de la planta, utilizando símbolos que representan los equipos principales del proceso. Aquí destacan las líneas de proceso que contienen: flujo, temperatura, presión y composición de cada corriente de cada equipo (reactores, torres, bombas, intercambiadores, motores, etc.).

Diagramas de tuberías e instrumentación (DTI): Representa el proceso minuciosamente, especificando los detalles de cada equipo, válvula, tubería, accesorio, instrumentación y arreglo de la planta. Muestra toda la tubería que indican las líneas del proceso (líneas gruesas) y de servicios auxiliares (líneas auxiliares) para cada equipo del proceso; las cuales contienen las válvulas, accesorios, e instrumentación con determinada simbología, así como la especificación de cada línea y las condiciones de operación (presión, temperatura,

y descripción de fluidos) también incluye toda la instrumentación del proceso, para control, registro e indicación de la operación de la planta.

De estas tres maneras se representa la descripción del proceso que se efectúa en la sección de destilación atmosférica de una planta primaria. Los DTI's fueron actualizados en campo y digitalizados en *Autocad 2000i*, que servirán como herramienta elemental para efectuar el análisis de riesgos, ya que no se puede realizar un análisis de un proceso del cual no se tiene la certeza de que contiene ciertos elementos (válvulas, instrumentos, by-pass, etc). A continuación se enlistan algunos de los diagramas utilizados para visualizar el proceso:

No. De diagrama	Tipo de diagrama	Nombre del diagrama	Página
Figura X	Diagrama de bloques	Destilación atmosférica	77
DFF-3.1	DFF	Destilación primaria 1/2	79
DFF-3.2	DFF	Destilación primaria 2/2	80
FQ-DTI-01 1/3	DTI	Sección de carga	Apéndice C
FQ-DTI-03A	DTI	Sección de desalado	Apéndice C

Tabla 10. Diagramas de la planta primaria.

III.6 Unidad de destilación atmosférica de una planta primaria⁵

La planta de destilación atmosférica con capacidad de 165, 000 BPD de procesamiento de crudo cretácico 100% o una mezcla de crudo cretácico y crudo marino en proporción de 50/50, fue diseñada por el Instituto Mexicano del Petróleo para Petróleos Mexicanos dicha unidad se localiza en la refinería de Tula, Hidalgo.

III.6.1 Descripción del proceso

La unidad destilación atmosférica esta diseñada para obtener máximo rendimiento de destilados (nafta, gasolina y diesel), utilizando el proceso de destilación fraccionada de crudo. En este proceso el crudo es sometido a precalentamiento en dos trenes de intercambio térmico, desalado, despunte y un calentamiento final para alcanzar la temperatura necesaria que permita la separación de la mezcla de hidrocarburos. El diseño de la planta incluye fraccionamiento y tratamiento de nafta, tratamiento de gas licuado o LPG y otra sección para tratamiento de aguas amargas.

5. Manual de Operación de la Unidad de Destilación Atmosférica de una planta primaria de la Refinería Miguel Hidalgo de Tula de allende, Hidalgo.

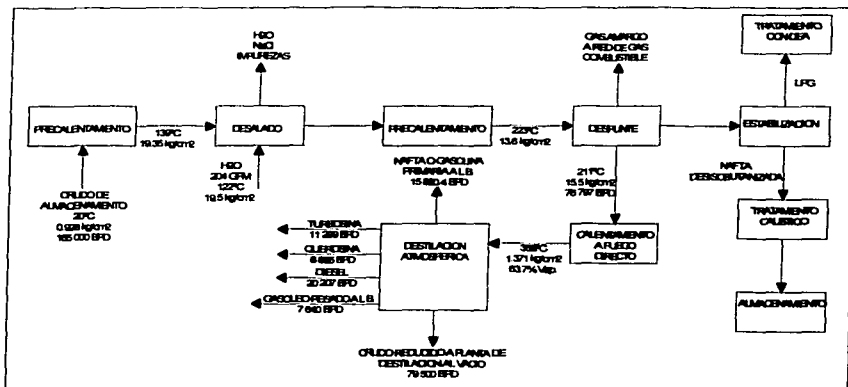


Figura X. Diagrama de bloques de la sección atmosférica de una planta primaria.

El proceso se inicia con el precalentamiento del crudo⁶, proveniente de tanques de almacenamiento, en dos trenes de intercambio térmico contra los productos de la destilación para alcanzar la temperatura requerida a fin de llevar a cabo el desalado del crudo, que es del orden de 139 a 165°C, dependiendo del crudo a procesar. Esta operación se efectúa en 20 intercambiadores de calor.

Después de precalentarse el crudo, se desala en dos trenes de desalado en paralelo con dos etapas en serie cada uno, aquí se eliminan las sales como NaCl y el H₂O, a un valor mínimo del orden de 1 lb. NaCl/1000 BIs de crudo y menos de 0.5% agua y sedimentos, con el fin de evitar daños por corrosión principalmente en los equipos de calentamiento y destilación. Enseguida el crudo desalado se precalienta hasta 219-225°C, en dos intercambiadores de calor contra residuo, para alimentarse a la zona de vaporización de las torres de despunte ADA-1 y ADA-2.

Del fondo de cada torre de despunte, se obtiene el crudo despuntado el cual se envía a los calentadores a fuego directo, ABA-1 y ABA-2 para calentarse a 368°C que es la temperatura requerida para alimentarse a la zona de vaporización de la torre atmosférica ADA-3.

6. Para entender mejor el proceso, ver el DFP en las páginas 79 y 80.



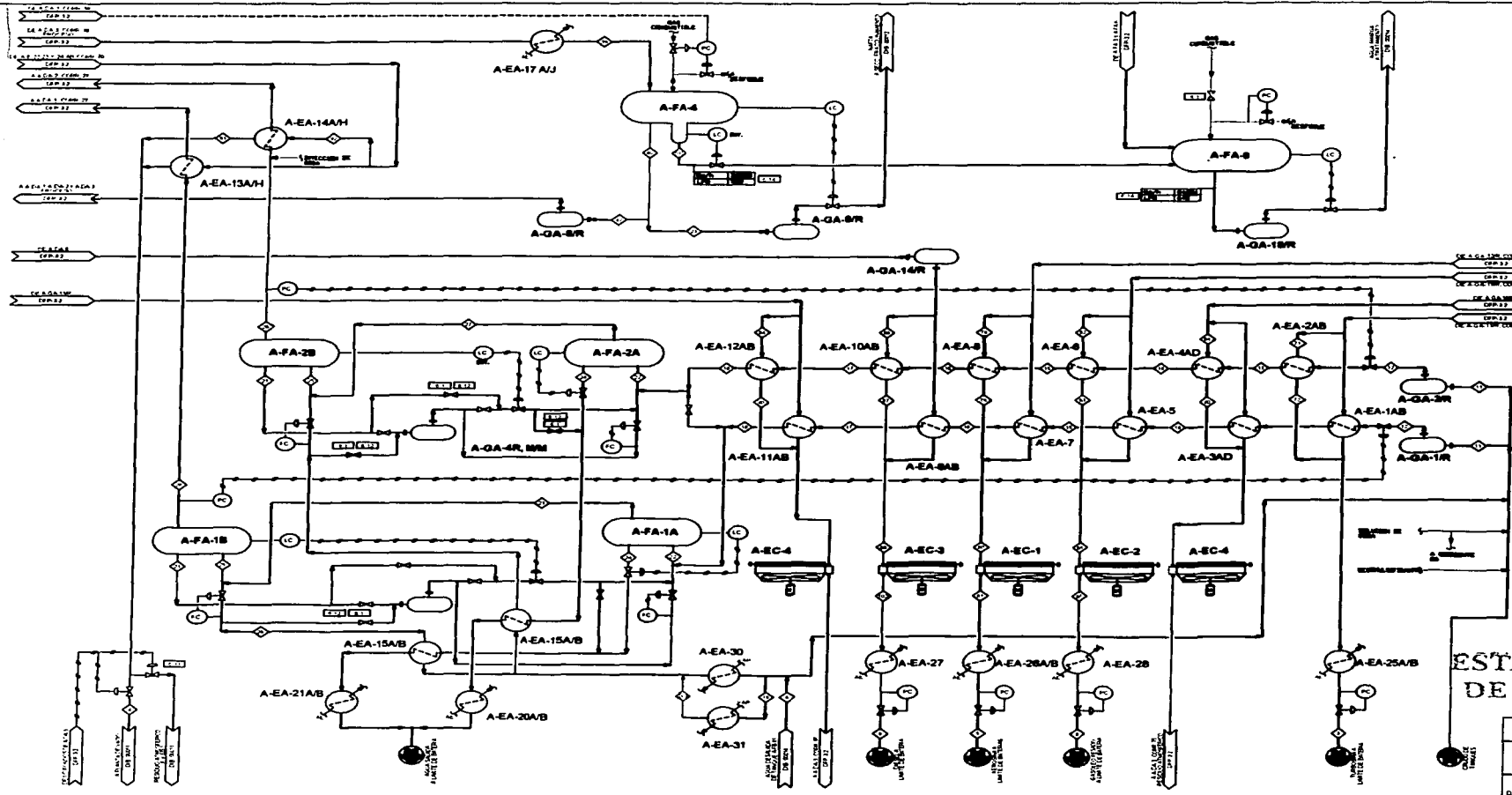
El producto del domo de cada torre de despunte constituye la nafta de despunte, que se envía a fraccionamiento y el gas amargo que se comprime para enviarse a la red de gas combustible.

En la torre de destilación atmosférica ADA-3 se lleva a cabo el fraccionamiento del crudo para obtener los diferentes "cortes" de hidrocarburos como son: por el domo, nafta o gasolina primaria (TFE-165°C máx.), del plato No. 9 turbosina, del plato No. 17 querosina, del plato No. 25 diesel (95% a 360°C máx.) y del plato No. 33 gasoleo pesado. La turbosina, la querosina y el diesel se envían desde su punto de extracción hacia su agotador ADA-4, ADA-5 y ADA-6, respectivamente, con el fin de ajustar su especificación como producto.

El calor requerido para el agotamiento, se proporciona en 4 rehervidores con residuo A-EA-22, A-EA-23, A-EA-24A/B. Alternativamente para el agotamiento se dispone de vapor de baja presión sobrecalentado, que se inyecta por debajo del plato No. 4 de cada torre agotadora.

El producto de fondos de la torre atmosférica ADA-3, que es lo que constituye el crudo reducido, después de ceder calor se envía como carga a la planta de destilación al vacío.

El fraccionamiento de nafta tiene como función estabilizar la nafta de despunte al separarle los hidrocarburos ligeros (gas licuado o LPG y gas) en la torre desbutanizadora ADA-51. El LPG se envía a tratamiento con dietanolamina (solución acuosa al 20% peso) y a tratamiento con solución cáustica. El gas se envía a la red de gas combustible. La nafta desbutanizada que se obtiene por el fondo de la torre ADA-51, se envía a tratamiento cáustico y posteriormente a almacenamiento.



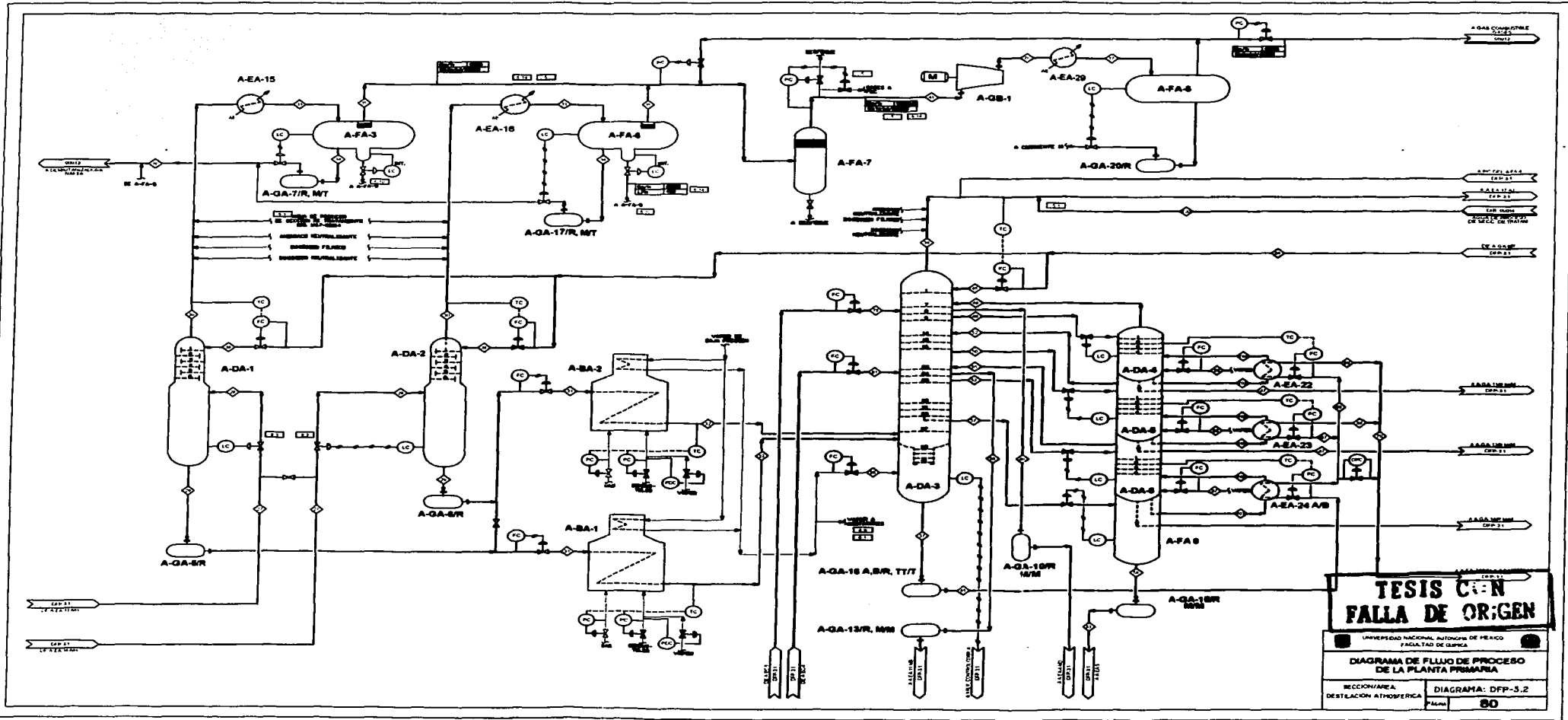
CLAVE SERVICIOS

1	AGUA CALIENTE
2	AGUA FRÍA
3	VAPOR DE AGUA
4	VAPOR DE ALCOHOL
5	VAPOR DE ETANOL
6	VAPOR DE METANOL
7	VAPOR DE ACETONA
8	VAPOR DE BENCENO
9	VAPOR DE TOLUENO
10	VAPOR DE XILOL
11	VAPOR DE N-HEXANO
12	VAPOR DE OCTANO
13	VAPOR DE DODECANO
14	VAPOR DE ALQUILAR
15	VAPOR DE ALQUILAR
16	VAPOR DE ALQUILAR
17	VAPOR DE ALQUILAR
18	VAPOR DE ALQUILAR
19	VAPOR DE ALQUILAR
20	VAPOR DE ALQUILAR
21	VAPOR DE ALQUILAR
22	VAPOR DE ALQUILAR
23	VAPOR DE ALQUILAR
24	VAPOR DE ALQUILAR
25	VAPOR DE ALQUILAR
26	VAPOR DE ALQUILAR
27	VAPOR DE ALQUILAR
28	VAPOR DE ALQUILAR
29	VAPOR DE ALQUILAR
30	VAPOR DE ALQUILAR
31	VAPOR DE ALQUILAR
32	VAPOR DE ALQUILAR
33	VAPOR DE ALQUILAR
34	VAPOR DE ALQUILAR
35	VAPOR DE ALQUILAR
36	VAPOR DE ALQUILAR
37	VAPOR DE ALQUILAR
38	VAPOR DE ALQUILAR
39	VAPOR DE ALQUILAR
40	VAPOR DE ALQUILAR
41	VAPOR DE ALQUILAR
42	VAPOR DE ALQUILAR
43	VAPOR DE ALQUILAR
44	VAPOR DE ALQUILAR
45	VAPOR DE ALQUILAR
46	VAPOR DE ALQUILAR
47	VAPOR DE ALQUILAR
48	VAPOR DE ALQUILAR
49	VAPOR DE ALQUILAR
50	VAPOR DE ALQUILAR

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA PLANTA PRIMARIA	
SECCION/AREA: DESTILACION ATMOSFERICA	DIAGRAMA: DFP-3-J
Página 79	



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LA PLANTA PRIMARIA

SECCION/AREA: DESTILACION ATMOSFERICA

DIAGRAMA: DFP-3.2

PLANTA: 80



III.6.2 Variables del proceso

Las variables del proceso se tratan a continuación, considerando la influencia que tienen en las distintas secciones de la planta.

III.6.2.1 Trenes de precalentamiento y desalado de crudo

- Temperatura

La temperatura que el crudo logre por cada tren de precalentamiento es importante, puesto que de ella depende el funcionamiento adecuado de las desaladoras. La temperatura de alimentación a las desaladoras deberá mantenerse dentro del rango de 130-170°C. Si la temperatura del crudo de alimentación a las desaladoras es menor, la emulsión que se forma con el agua es más difícil de romper debido al incremento de la viscosidad. Un aumento dificultaría el desalado debido al desprendimiento de componentes ligeros del crudo.

- Mezclado.

Para llevar a cabo un desalado eficiente, el crudo se pone en contacto con agua y una pequeña cantidad de desmulsificante químico. Esta mezcla se pasa a través de la válvula mezcladora para dispersar el agua del crudo, tanto como sea posible, pero sin llegar a formar una emulsión que este altamente estabilizada y difícil de romper.

- Flujo de agua.

Para desalado en serie, se recomienda dosificar 8% Vol. de agua con respecto a la cantidad de crudo a procesarse, aunque el flujo de agua podrá ser variado para dosificarse:

- concentración de desmulsificante
- flujo de solución cáustica

III.6.2.2 Despunte de crudo

- Temperatura

La temperatura de alimentación recomendada para el despunte es de 205 a 217°C para lograr una vaporización de 23 a 29% Vol. Una temperatura mayor propicia la separación de fracciones pesadas contaminando la nafta producto y requiriéndose mayor cantidad de nafta primaria como reflujo. Una menor temperatura desfavorece la eliminación de los componentes ligeros, lo que repercutirá en aumento de flujo a la torre de destilación atmosférica y en una menor producción de la nafta de despunte.



- Presión.

La presión recomendada es en el rango de 2.1 a 2.8 kg/cm² y una variación mayor de la misma afecta el porcentaje de vaporización, por lo que debe mantenerse constante.

III.6.2.3 Calentamiento de crudo

- Temperatura.

La temperatura de salida de los hornos se recomienda sea de 368°C, con el fin de lograr una vaporización en el crudo de 63 a 75% Vol. Debe evitarse que la temperatura de salida del crudo sea mayor de 374°C, para no tener excesiva coquización en los tubos de los calentadores y en la línea de "transfer" calentador-torre atmosférica.

III.6.2.4 Destilación atmosférica y agotamiento

- Presión.

La presión en la torre atmosférica A-DA-1 se recomienda sea de 0.670 kg/cm² para alcanzar separaciones adecuadas, de composición constante. Por lo tanto, la presión no debe variarse. Además, el ajuste de la temperatura del domo de la torre A-DA-1, de las recirculaciones internas superior e inferior, así como de las extracciones, se deberán efectuar tomando como referencia los balances de la planta para cada uno de los casos de operación.

III.6.3 Descripción de flujo

Debido a que se tienen cuatro casos de operación, en la presente descripción se considera: como carga a la planta la mezcla 50/50% Vol. de crudo cretácico y crudo marino, y como producción de destilado el máximo rendimiento de gasolina. Entre paréntesis se hace referencia a las condiciones de operación para máxima producción de diesel.

III.6.3.1 Trenes de precalentamiento

El crudo se recibe de los tanques de almacenamiento por una línea de 18" a la succión de las bombas de carga, A-GA-1/R y A-GA-2/R, a una temperatura de 20°C y 0.928 kg/cm², y a una razón de 165,000 BPD. La presión y la temperatura se controlan del tablero principal, se conoce el flujo de crudo de



alimentación; además, se dispone de toma de muestra normal y un analizador de densidad, con el fin de detectar las características físicas de la carga. Antes de que el crudo se envíe a los trenes de precalentamiento, se le inyecta en la succión de las bombas de carga, agua tratada, 96.30 GPM, solución de sosa cáustica al 5% peso y desemulsificante 15 ppmv, con el fin de solubilizar las sales del crudo y las depositadas a lo largo de cada tren; neutralizar los ácidos presentes en el crudo y adicionar un agente coalescedor para favorecer el desalado.

Cada bomba maneja el crudo a razón de 2412.6 GPM, y a una presión de 31.4 kg/cm² lo alimenta a su tren de precalentamiento. La bomba A-GA-1/R alimenta el tren "A". El crudo se precalienta desde 20°C hasta 139°C (146°C) y se tiene una caída de presión de 12 kg/cm², por lo que la presión disminuye de 31.4 kg/cm². El flujo de carga a este tren "A".

La bomba -A-GA-2/R alimenta el crudo al tren "B", donde a su paso logra la misma temperatura y se tiene la misma caída de presión que para el tren "A". Este tren "B".

III.6.3.2 Desalado de crudo

El sistema de desalado de crudo está implementado de manera que normalmente la inyección de agua fresca a las desaladoras se efectúa en serie, es decir, el agua se adiciona a la segunda etapa y de esta a la primera. Sin embargo, también se tienen las dificultades necesarias para la dosificación de agua fresca en paralelo, o sea, inyectar el agua simultáneamente a las dos etapas de desalado.

En esta sección el crudo disminuye su concentración de sales, agua e impurezas, obteniéndose un crudo desalado de acuerdo a lo siguiente:

Contenido de sal, de 140 lb. de NaCl a menos de 1 lb. por cada 1000 bl. de crudo procesado.

Contenido de agua y sedimentos, a menos de 0.5% Vol.

El flujo de crudo a través de las desaladoras es como sigue:

- Desalado en serie, tren "A".

El crudo precalentado a 139°C (146°C) y 19.35 kg/cm², se recibe a través de una línea de 14" en la desaladora A-FA-1A de la primera etapa, previo mezclado con agua. El agua proviene de la segunda etapa de desalado. El crudo desalado sale por el domo y se dirige a la segunda etapa de desalado, el agua salada se separa del crudo y se elimina por el fondo de la desaladora a control de nivel. Al crudo se le inyecta el agua tratada a razón de 204 GPM a 122°C y 19.5 kg/cm², entre la primera y la segunda etapa de desalado. El crudo y el agua pasan a través de la válvula mezcladora, donde se lleva a cabo su contacto



por ajuste de la caída de presión en la válvula. Enseguida, la mezcla entra por el fondo de la desaladora A-FA-1B. El crudo desalado sale por el domo del recipiente hacia la torre de despunte A-DA-1.

- Tren "B". Desalado en serie.

La descripción del flujo para este tren, es similar que para el tren "A", tomando en cuenta la clave de la instrumentación y del equipo. El crudo desalado de la segunda etapa, continúa hacia la torre de despunte A-DA-2.

Para el control de la operación de desalado, las desaladoras cuentan con indicadores de nivel, indicadores de temperatura, indicadores de presión, tomas de muestras con enfriamiento, y líneas de inyección de vapor de media presión al fondo de cada recipiente para la remoción de lodos. Asimismo, cada desaladora cuenta con válvulas de bloqueo y líneas de desvío para cuando tengan que sacarse de servicio para darles mantenimiento.

- Desalado en paralelo, Tren "A".

El agua tratada a 122°C y a razón de 203.7 GPM, se alimenta a la desaladora A-FA-3/R por una línea 14". Simultáneamente, con la bomba A-GA-3/R, se envía un flujo de 203.7 GPM a la desaladora A-FA-1A.

El agua salada que se separa en la primera desaladora A-FA-1A, se extrae a control de nivel de la misma y se une con la corriente de agua salada proveniente de la segunda desaladora, A-FA-1B, que se extrae a control de nivel de la misma, y sin utilizar las bombas A-GA-3/R.

Debido a que la corriente de agua salada proveniente de A-FA-1B, tiene una presión menor que la corriente que sale de la desaladora A-FA-1A, es necesario ajustar la presión de esta última por medio de la válvula de globo instalada corriente abajo, al valor que permita la eliminación simultánea del agua salada de ambos equipos.

El crudo que sale de la desaladora A-FA-1A pasa a la segunda etapa de desalado que se realiza en A-FA-1B. El crudo desalado sale por el domo de este equipo y por una línea de 14" va a la torre de despunte A-DA-1.

Para el tren "B", el desalado en paralelo se realiza de la misma forma que para el tren "A".

Las corrientes de crudo, que salen de las desaladoras A-FA-1B y A-FA-2B, reciben una inyección de solución cáustica al 4% peso, como agente neutralizante del ácido clorhídrico formado por el proceso de desalado.



III.6.3.3 Torres de despunte A-DA-1 y A-DA-2

El crudo desalado se precalienta en los intercambiadores crudo/residuo A-EA-13A/H (tren "A") y A-EA-14A/H (tren "B"), a una temperatura de 223°C (225°C) para efectuar el despunte en las torres A-DA-1 y A-DA-2.

El flujo de crudo a través de los intercambiadores de calor A-EA-13A/H, para el tren "A", es como sigue: La corriente de crudo desalado que circula por una línea de 14" se divide en dos flujos iguales, uno por una línea de 10", para pasar a través de los bancos de cambiadores de calor A-EA-A/H. De manera similar para el tren "B", el flujo de crudo pasa a través de los intercambiadores A-EA-14A/H. El crudo desalado a la temperatura de 223°C (225°C) y a una presión de 13.6 kg/cm² se alimenta a control de nivel de cada torre de despunte A-DA-1 y A-DA-2. La corriente de crudo se introduce por debajo del plato No. 6 y debido a la reducción de presión, hasta 2.4 kg/cm² (2.194 kg/cm²) a través de las válvulas de control, se ocasiona una vaporización parcial de 9.3% peso (10.376%), de los componentes ligeros del crudo, que se separan de la fase líquida.

Los vapores de los hidrocarburos ligeros ascienden al domo y se rectifican con una corriente de nafta ligera de destilación atmosférica, que se alimenta al plato No. 1 de la torre A-DA-1 y A-DA-2. La corriente de reflujo se admite a control de temperatura del domo, 148°C (150°C). Los vapores de hidrocarburos ligeros provenientes del domo de las torres de despunte se condensan parcialmente en el condensador A-EA-15 y A-EA-16 y se reciben en el acumulador A-FA-3 y A-FA-6. La fase líquida de hidrocarburos o nafta de despunte, se extrae con las bombas A-GA-7/R y A-GA 17/R, a control de nivel de sus respectivos acumuladores, enviándose a la sección de fraccionamiento y tratamiento de nafta. El flujo de nafta, 10548 BPD (11650 BPD).

La fase gaseosa, 55 Mm³ SD, de cada torre de despunte, que contiene una fracción de componentes recuperables, se envía a compresión.

La corriente se recibe en el tanque de succión A-FA-7, y por una línea 8" se alimenta a la succión del compresor de incondensables A-GB-1. La fase líquida que se separa en el recipiente, se elimina drenándose en forma manual al desfogue, por una línea de 2". La corriente gaseosa se comprime de 1.8 kg/cm² a 15.4 kg/cm² y pasa a través del condensador A-EA-29 donde se condensan los hidrocarburos recuperables de la fase gaseosa. Ambas corrientes se reciben en el separador A-FA-5.

La fase gaseosa se separa de la líquida y a control de presión (15 kg/cm²) del A-FA-5 y mediante una válvula reductora de presión, se envía a la red de gas combustible. La fase líquida, 1913 BPD a 49°C, se bombea con la A-GA-20/R y se incorpora a la corriente de nafta de torres de despunte.



El control de presión de las torres de despunte se efectúa por la operación de compresor A-GB-1, para mantener una presión de 2.33 kg/cm² (2.12 kg/cm²) en el domo de las mismas.

Cuando no se trabaje el compresor A-GB-1, los gases pueden enviarse a la planta catalítica FCC, a control de presión del separador A-FA-7.

Así como la fase gaseosa de los domos de las torres de despunte que no se condensa y se separa en los acumuladores A-FA-3 y A-FA-6, el agua amarga también se separa en dichos equipos, extrayéndose a control de nivel de interfase en cada "pierna de extracción" y se envía al tanque colector de agua amarga A-FA-9.

Por otra parte se tiene que del fondo de cada torre de despunte se extrae el crudo despuntado, y con las bombas de fondo A-GA-5/R y A-GA-6/R se alimenta a cada horno de calentamiento a razón de 76797 BPD (76094 BPD) a 211°C (213°C) y 15.5 kg/cm² (15.3 kg/cm²).

III.6.3.4 Calentadores de crudo A-BA-1 y A-BA-2

Calentadores de crudo A-BA-1 (tren "A") y A-BA-2 (tren "B") a control de flujo, donde alcanza la temperatura de 368°C, y una presión de 1.371 kg/cm² sale para continuar en la torre atmosférica A-DA-3.

La alimentación a cada calentador A-BA-1 y A-BA-2, se realiza a través de ocho serpentines, controlando su flujo en cada serpentín en 311 GPM o 9600 BPD (308 GPM o 9512 BPD) y una presión de 10.93 kg/cm². Los serpentines entran en la zona de convección y pasan a la zona de radiación.

La zona de radiación de los calentadores está constituida por dos celdas, la celda "A" y la celda "B", por lo que los serpentines que salen de convección se dividen en cuatro; su distribución es la siguiente:

- Celda "A", recibe los serpentines A, B, C y D.
- Celda "B", recibe los serpentines E, F, G y H.

Los serpentines A, D, E y H, entran en la parte superior de radiación, mientras que los serpentines B, C, F y G, entran en la parte inferior.

Los serpentines que salen de la celda "A" del calentador A-BA-1, se reciben en un cabezal de 24, mientras que los de la celda "B" se reciben en otro cabezal de 4". Ambos cabezales se conectan a la "línea transfer" de 36", para que el crudo caliente a 368°C y con 63.7% Vol. (62.3% Vol.) de vaporización se



introduzca al fondo de la torre atmosférica A-DA-3. De manera similar ocurre la salida de los serpentines del calentador A-BA-2.

El control de temperatura del calentador A-BA-1 se realiza de la siguiente manera:

La temperatura promedio de los cuatro serpentines de salida de cada una de las celdas de radiación, se manda como señal a sus respectivos controladores de presión de gas o del combustóleo a quemadores, según se seleccione. Esto es, la señal de los termopares se promedia recibándose en el controlador de temperatura, para que este a su vez reajuste al controlador de presión del gas combustible o al controlador de presión del combustóleo, según se seleccione en un switch manual para la celda "A". De igual manera, para la celda "B" se tiene que la señal de los termopares, se promedia recibándose en el controlador de temperatura, para que éste a su vez reajuste al controlador de presión del gas combustible o al controlador de presión del combustóleo, según se seleccione en el switch manual. De esta forma se logra el control de cada una de las celdas de radiación y por lo tanto, del calentador.

Con respecto al calentador A-BA-2, su control de temperatura se realiza de la misma manera que para el calentador A-BA-1. Con el fin de recuperar el calor residual de los gases de combustión, (6,67 MMBTU/h) en la zona de convección de los calentadores A-BA-1 y A-BA-2 se tienen instalados cuatro serpentines para sobrecalentamiento de vapor de proceso. Este vapor de proceso se utiliza como vapor de agotamiento en la torre atmosférica y en los agotadores de destilados. La alimentación del vapor a los calentadores es como sigue: Para el calentador A-BA-1 el vapor de baja presión a 148°C y 3.87 kg/cm², proveniente del cabezal de servicios, se alimenta por una línea de 12 a los cuatro serpentines de 6" de diámetro de la parte superior de la zona de convección del calentador, a razón de 17,390 kg/h; aquí el vapor incrementa su temperatura hasta 343°C. Esta temperatura se conoce por un indicador de consola.

El vapor sobrecalentado de los cuatro serpentines se recibe en un cabezal de 8" para continuar a la torre A-DA-3 y a los agotadores A-DA-4, por un cabezal de 18". El flujo de vapor de baja se regula por el consumo de vapor sobrecalentado en la torre atmosférica y en los agotadores. En el cabezal de 18", se tiene instalado el controlador de presión local, para enviar el vapor a la atmósfera a través de una válvula automática de presión, en la eventualidad de que se interrumpa su consumo. Para el calentador A-BA-2, la alimentación de vapor a su zona de convección es similar que para el calentador A-BA-1. El vapor sobrecalentado se recibe en una línea 14", en donde se encuentra instalada una válvula automática de presión, actuada por un controlador local, para desfogar a la atmósfera el vapor en caso de que se interrumpa su consumo. El vapor sobrecalentado en este horno, se une al del horno A-BA-1 injertándose en un cabezal de 18".



III.6.3.5 Torre atmosférica A-DA-3

El crudo despuntado proviene de los calentadores A-BA1 y A-BA-2 a una temperatura de 368° C, 63.7% Vol. De vaporización (62.3%) y a una presión de 1.37 kg/cm² se recibe en la zona de vaporización (debajo del plato No. 37) de la torre, a través de dos boquillas opuestas de alimentación de 914 mm cada una. En estas condiciones se separan los hidrocarburos ligeros o cortes del crudo. La torre A-DA-3 esta diseñada con 41 platos del tipo válvulas de dos pasos y con arrastre de vapor, para llevar a cabo la separación de la mezcla de hidrocarburos.

La torre A-DA-3 trabaja con las condiciones de operación siguientes:

En el domo con una temperatura de 152°C (136.5°C) y una presión de 0.77 kg/cm²; mientras que en el fondo con una temperatura de 361°C (361°C) y una presión de 1.4 kg/cm². El destilado y cortes que se obtienen son los siguientes:

Domo	Nafta primaria a L.B.	15 880.4 BPD (8 177 BPD)
Plato No. 9	Turbosina o nafta pesada	11 229 BPD (13 945 BPD)
Plato No. 17	Querosina	8 885 BPD (6 207 BPD)
Plato No. 25	Gasóleo ligero o diesel	20 207 BPD (26 499 BPD)
Plato No. 33	Gasoleo pesado "GOP"	7 640 BPD (7 302 BPD)
Fondo	Crudo Reducido	79 500 BPD (79 501 BPD)

Los hidrocarburos ligeros a 152°C (136.5°C) salen por el domo a través de dos líneas de 36" y pasan a los condensadores A-EA-17 A/J donde se condensan, recibíendola en el acumulador A-FA-4 a 49°C. Los intercambiadores están distribuidos en cinco bancos de intercambiadores de calor en paralelo con dos equipos en serie cada uno.

En el acumulador A-FA-4 se separa la nafta primaria y el agua amarga. Parte de la nafta primaria o gasolina, se usa como reflujo a cada torre de despunte a razón de 154.1 GPM o 5 164 BPD y para dar el reflujo al domo de la torre A-DA-3 a razón de 933.6 GPM o 31 294 BPD. ambos flujos son enviados con las bombas A-GA-8/R a una temperatura de 49°C y una presión de 5.5 kg/cm².

El exceso de gasolina se envía como producto destilado a L.B., a control de nivel del acumulador A-FA-4 y manejado por la bomba A-GA-9/R. En el trayecto hacia L.B., la gasolina se enfría con agua en el enfriador de nafta A-EA-32A/B hasta una temperatura de 38°C.

El agua amarga se extrae de la pierna del acumulador A-FA-4, a control de nivel de interfase de la misma y por diferencia de presión se envía hacia el tanque colector de agua amarga A-FA-9.



Las distintas fracciones que se extraen de la torre atmosférica se manejan de la siguiente manera:

La corriente de turbosina se envía hacia el agotador A-DA-4 a control de nivel, a una temperatura de 194°C (178°C). La corriente de querosina se envía hacia el agotador A-DA-5 a control de nivel, a una temperatura de 234°C (222°C). La corriente de diesel se envía hacia el agotador A-DA-6 a control de nivel, a una temperatura de 281°C (260°C). La corriente de gasoleo pesado se envía hacia el tanque de balance A-FA-8 a control de nivel, a una temperatura de 344°C (345°C). De este recipiente a control de flujo y por medio de la bomba A-GA-15/R se envía a la planta FCC, previo enfriamiento en los intercambiadores A-EA-5 y A-EA-6, enfriadores de gasoleo A-EC-2A/B y A-EA-28.

Al pasar el gasoleo pesado a través de los equipos A-EA-5 y A-EA-6, disminuye su temperatura de 344°C a 170°C (245°C a 101°C) al precalentar el crudo, y al pasar por los enfriadores con aire A-EC-2A/B y con agua A-EA-28, se enfría hasta 49°C. De los platos No. 7 y No. 23, se toman las extracciones de recirculación para precalentar el crudo para desalado en los trenes de intercambio térmico y para mantener un perfil de temperaturas en las zonas de extracción de la turbosina y diesel.

La corriente del plato No. 7 es la extracción superior y se recircula a control de flujo a razón de 1947.5 GPM (1477 GPM) a través de los intercambiadores de calor A-EA-3A/D (lado coraza) y A-EA-4A/D (lado coraza). El flujo se envía con la bomba A-GA-10/R a una presión de 9.15 kg/cm². La corriente de recirculación retorna al plato No. 8 a una temperatura de 93°C y 0.810 kg/cm².

La corriente del plato No. 23 es la extracción inferior y se recircula a control de flujo, a razón de 441 GPM (1693 GPM) a través de los intercambiadores de calor A-EA-11A/B (lado coraza), y A-EA-12A/B (lado coraza). El flujo se envía con la bomba A-GA-13/R a una presión de 6.8 kg/cm² y una temperatura de 280.5°C (260°C). La corriente de recirculación retorna al plato No. 24 a una temperatura de 163°C y 1.12 kg/cm².

El crudo reducido se obtiene del fondo de la torre ADA-3 y por medio de las bombas A-GA-16 A/B/R se envía como medio de calentamiento a los rehervidores A-EA-24 A/B, A-EA-23 y A-EA-22 de los agotadores, enseguida se enfría al precalentar el crudo desalado en los intercambiadores A-EA-13 A/H y A-EA-14 A/H (lado coraza), para que al final se envíe a control de nivel del fondo de la torre como carga a la Planta de Destilación al Vacío.

El fraccionamiento de crudo en la torre atmosférica A-DA-3, normalmente se lleva a cabo con vapor de arrastre para eliminar los hidrocarburos ligeros del crudo reducido al disminuir la presión parcial de los hidrocarburos. Se utiliza vapor de baja presión, sobrecalentado a 343°C y 3.0 kg/cm², y se inyecta a la sección de agotamiento del fondo de la torre por debajo del plato No. 41 a través de un distribuidor. El flujo de vapor de arrastre es de 19 547 kg/h y se alimenta a control de flujo.



La presión de la torre atmosférica A-DA-3, se logra mantener la presión del domo de la misma al variar el contenido de vapores de hidrocarburos en el acumulador A-FA-4.

III.6.3.6 torres agotadoras A-DA-4, A-DA-5 y A-DA-6

Las torres agotadoras tienen como finalidad ajustar la especificación de los productos, turbosina, kerosina y diesel al eliminar los hidrocarburos ligeros residuales. Para tal fin las torres cuentan con cuatro platos del tipo válvulas de un paso y un rehevridor del tipo "termosifón" que usa crudo reducido para proporcionar el calor de agotamiento.

En caso de que no se disponga de cualquier rehevridor, se tiene prevista una inyección de vapor sobrecalentado al fondo del agotador, para efectuar el agotamiento por arrastre.

La turbosina se recibe en el plato No. 1 de la A-DA-4, los hidrocarburos ligeros se separan y salen por el domo hacia el plato No. 6 de la A-DA-3, a través de una línea de 18". La turbosina desciende hasta el fondo alimentando a la zona del rehevridor, el exceso del líquido rebosa hacia la zona de extracción, de donde se obtiene la turbosina producto.

La turbosina producto se extrae del fondo del agotador A-DA-4 hacia el límite de batería a control de flujo con la bomba A-GA-11/R, previo enfriamiento hasta 38°C en los A-EA-1 A/B, A-EA-2 A/B y A-EA-25A/25B.

La kerosina se recibe en el plato No. 1 del agotador A-DA-5, los hidrocarburos ligeros se separan y salen por el domo hacia el plato No. 16 de la torre A-DA-3, a través de una línea igualadora de 14". La kerosina desciende al fondo hacia el lado del rehevridor retornando y rebasando al otro lado del fondo donde se extrae como producto.

La kerosina se extrae del fondo del agotador hacia límite de batería a control de flujo con la bomba A-GA-12/12R y previo enfriamiento en los intercambiadores A-EA-7/B, A-EC-1 y A-EA-26B/26A. En los A-EA-7/B la kerosina precalienta el crudo y disminuye su temperatura de 276°C (256°C) a 112°C (99°C), y en los enfriadores con aire A-EC-1 y con agua de enfriamiento A-EA-26B/26A se enfría hasta 38°C.

La corriente de diesel se recibe en el plato No. 1 del agotador A-DA-6, los hidrocarburos ligeros se separan y salen por el domo hacia el plato No. 22 de la torre A-DA-3, a través de una línea de 18".



El diesel se extrae del fondo del agotador hacia limite de batería a control de flujo con la bomba A-GA-14/14R y previo enfriamiento en los intercambiadores A-EA-9A/9B, A-EC-3 y A-EA-10B/10A y en el enfriador con agua de enfriamiento AEA-27. En los A-EA-9A/9B y A-EA-10B/10A el diesel precalienta el crudo y disminuye su temperatura de 319°C (304°C) a 123°C (155°C), y en los enfriadores con aire A-EC-3 y con agua de enfriamiento A-EA-27 se enfría el diesel hasta 49°C.

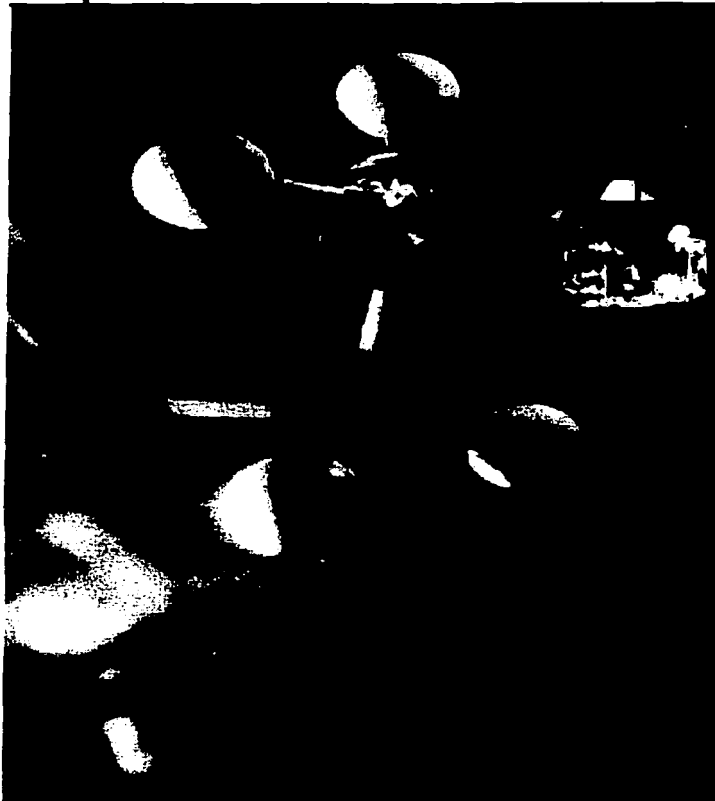
Antes de medirse el diesel a limite de batería se toman tres corrientes para servicios, que son: dos de ellas aceite de limpieza y aceite de "flushing" a instrumentos y aceite de sellos a bombas, después del solcaire A-EC-3 y antes del A-EA-27 a una temperatura de 60°C y 9 kg/cm².

Cada torre agotadora cuenta con instrumentos para conocer las temperaturas del domo y fondo con indicadores de presión y con alarmas por nivel alto y nivel bajo, que ayudaran para la buena operación de estos equipos. Asimismo, los rehervidores tienen las facilidades necesarias para entregarse a mantenimiento, como son: válvulas de bloqueo y líneas de servicio para drenado, limpieza y vaporizado.

Capitulo IV



Resultados del
análisis de
riesgos y
recomendaciones



TESIS C.C.N
FALLA DE ORIGEN

Facultad de Química





Capítulo IV

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y RECOMENDACIONES

IV.1 Resultados

IV.1.1 Comparación de las diferentes técnicas de análisis de riesgos

El presente trabajo tiene como fin analizar los riesgos potenciales de la sección de destilación atmosférica, de una Planta Primaria. Para hacer la selección de las técnicas que se usaron para efectuar el análisis de riesgos de la Planta Primaria, fue necesario plantearse los alcances que se pretendían obtener. Pues se requería un análisis generalizado y cuantitativo sobre los riesgos que podían generarse en cada sección.

Para ello se hizo una comparación entre las diferentes técnicas de análisis de riesgos, las cuales se expusieron en el Capítulo II, de la cual se obtuvo lo siguiente:

A. Comparación de la realización del análisis en las etapas de ingeniería de la planta

Técnicas de Análisis de Riesgos	Etapas de Ingeniería						
	Perfil	Ingeniería Conceptual	Ingeniería Básica	Ingeniería de Detalle	Montaje	Puesta en Marcha	Operación
Código de Seguridad	X						X
Revisión de Seguridad			X	X	X	X	X
Lista de Verificación	X	X	X	X	X	X	X
Histórico de Accidentes							X
Índices Dow y Mond				X			X
¿Qué pasaría si?	X	X	X	X	X	X	X
Modos de fallas y efectos		X	X	X	X	X	X
PHA	X	X	X		X	X	X
Error Humano			X	X	X	X	X
AAE			X	X		X	X
Análisis de consecuencias			X	X		X	X
AAF			X	X		X	X
HAZOP		X	X	X	X	X	X

Tabla 11. Técnicas contra etapas de Ingeniería.

Como el análisis de la Planta Primaria se efectúa para la etapa de Operación, todas las técnicas pueden servir en primera instancia, sin embargo, existen diferentes necesidades para este estudio, en cuanto a alcances y resultados esperados.

B. Comparación en cuanto a alcances y los resultados que proporcionan las técnicas.

Como ya se describió en el capítulo II, existen técnicas que se clasifican según el alcance o criterio que se desea obtener del estudio, esto es en: comparativo o generalizado, el primero se basa en la experiencia acumulada y el segundo se apoya de recursos lógicos y sistemáticos para realizar el estudio. Otra forma interesante de clasificar las técnicas, es de acuerdo al resultado que se desea obtener, el cual puede ser cuantitativo o cualitativo; es decir si se desea solo saber las causas que provoquen el efecto o si se desea tener un dato del riesgo ya sea en forma gráfica o numérica.

Técnicas de análisis de riesgos	Alcance		Resultado	
	Comparativo	Generalizado	Cuantitativo	Cualitativo
Código de Seguridad	X			X
Revisión de Seguridad	X			X
Lista de Verificación	X			X
Histórico de Accidentes	X			X
Índices Dow y Mond		X	X	
¿Qué pasaría si?		X		X
Modos de fallas y efectos		X		X
PHA		X		X
Error Humano		X		X
AAE		X	X	
Análisis de consecuencias		X	X	
AAF		X	X	
HAZOP		X	X	

Tabla 12. Técnica contra Alcance y Resultados.

Lo que se pretende con el análisis de riesgos de la Planta Primaria, es usar una técnica generalizada, porque se requiere de un análisis con razonamiento lógico y esquematizado y no solo de los conocimientos obtenidos de la experiencia. Además se requieren unos resultados que se puedan visualizar ya sea de manera numérica o gráfica, que den una respuesta cuantitativa de los riesgos potenciales encontrados.

C. Comparación entre disponibilidad de herramientas para efectuar el análisis.

Otro factor muy importante es la disponibilidad de las herramientas necesarias para efectuar el análisis con determinada técnica. Algunas requieren de información controlada por las empresas dedicadas a efectuar los análisis (listas de verificación, revisiones de seguridad, análisis históricos de accidentes, análisis de error humano), otras solo requieren de la realización de cálculos estadísticos (árbol de fallas, árbol de evento, análisis de modos de falla y efectos) y otras se apoyan en software para realizar el estudio de manera sistemática (análisis de riesgos y operabilidad, análisis de consecuencias, índices Dow y Mond).

Técnicas de análisis de riesgos	Información controlada	Software	Cálculos	Personal para realizar el análisis	
				1	2 o más
Código de Seguridad	X			X	
Revisión de Seguridad	X				X
Lista de Verificación	X				X
Histórico de Accidentes	X			X	
Índices Dow y Mond		X	X		X
¿Qué pasaría si?	X				X
Modos de fallas y efectos			X	X	
PHA	X				X
Error Humano	X				X
AAE			X	X	
Análisis de consecuencias		X		X	
AAF			X	X	
HAZOP		X			X

Tabla 13. Técnicas contra Disponibilidad de Herramientas.

D. Comparación de acuerdo al objetivo del análisis de riesgos.

Otra comparación de gran trascendencia es considerando lo que busca cada técnica, que en realidad todas tienen el mismo fin, sin embargo tienen las siguientes diferencias:

Técnicas de análisis de riesgos	Objetivo
Código de Seguridad	Dar lineamientos para diseño, fabricación, distribución, instalación, operación, modificación y desmantelamiento de la planta.
Revisión de Seguridad	Evaluar el cumplimiento de los procedimientos de trabajo, normas en el diseño, operación y mantenimiento de la planta.
Lista de Verificación	Evaluar materiales, equipos y procedimientos en cuanto deficiencias del diseño, accidentes por operación del equipo o proceso.

Histórico de Accidentes	Investigar la información de la experiencia pasada de accidentes e incidentes de un proceso.
Índices Dow y Mond	Encontrar un índice que evalúe los riesgos en las etapas de diseño y operación.
¿Qué pasaría si?	Determinar consecuencias no deseadas que se originan por un determinado evento.
Modos de fallas y efectos	Identificar modos de falla, efecto y criticidad de los modos de los equipos de la planta
PHA	Identificar riesgos en las etapas iniciales de diseño de la planta, para proteger materiales peligrosos, equipos e instalaciones importantes.
Error Humano	Evaluar la probabilidad de procedimientos erróneos y fallas humanas que desencadenen al accidente por los operadores de la planta.
AAE	Identificar las secuencias de los sucesos no deseado de principio a fin del accidente en forma de probabilidad de ocurrencia.
Análisis de consecuencias	Evaluar consecuencias originadas de incendios y explosiones a partir de las condiciones del material y cantidad de derrame o fuga.
AAF	Deducir las fallas básicas de un sistema determinado hasta llegar al evento culminante, calculando frecuencia o probabilidad de ocurrencia.
HAZOP	Identificar problemas de operabilidad de una planta dando recomendaciones par reducir el riesgo.

Tabla 14. Técnicas contra Objetivo.

El objeto en general es identificar el riesgo y evaluarlo. Se identifica analizando una etapa determinada del proceso, revisando o cuestionando las condiciones de proceso, el funcionamiento adecuado del equipo, sustancias, etc. Se evalúa, ya sea proporcionando un número como: índice, probabilidad o frecuencia; ya sea evaluando las causas que originan un evento o modos de originarse un evento; o ya sea evaluando las consecuencias que se suscitan después del accidente.

IV.1.2 Criterio de Selección de la Técnica de Análisis

Las técnicas son muy diversas en cuanto objeto, herramientas, alcances y resultados. Por lo tanto para seleccionar las que utilizan en el presente estudio, será de acuerdo al criterio de disponibilidad de herramientas para efectuarlo y de acuerdo al alcance y tipo de resultados. La selección de las técnicas para realizar el análisis de riesgos de una Planta Primaria es la siguiente:

El Análisis de Riesgos y Operabilidad, es una técnica muy completa que, de manera sistemática y detallada, ayuda a encontrar los riesgos por desviaciones en la operabilidad del proceso. Proporcionando las recomendaciones para la mejora de la operación del proceso, esto con la colaboración de un grupo multidisciplinario.



El Análisis de Árbol de Fallas, sirve para indagar sobre las causas que originen un evento indeseado. Además el árbol puede ser optimizado por cálculos mediante álgebra booleana para poder cuantificar el riesgo real, calculando su probabilidad de ocurrencia con conjuntos mínimos.

El Análisis de Consecuencias, que mediante la ayuda de software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, se pueden analizar los riesgos en el proceso, en función de la mezcla de materiales flammables y explosivos, como son las gasolinas, diesel, querosina, turbosina, etc. Proporciona el área de riesgo si llega a incendiarse o explotar algún equipo como consecuencia del derrame o fuga de los materiales mencionados.

Se escogieron estas tres técnicas, porque se pueden usar para hacer el análisis en la etapa de Operación de la Planta. Son técnicas generalizadas, porque usan métodos lógicos y esquematizados por lo tanto, más confiables. Además, dan resultados cuantitativos (probabilidad de ocurrencia) que ayuda a visualizar mejor la potencialidad de los riesgos encontrados en la Planta.

IV.1.3 Metodología empleada para el estudio de riesgos en la Planta Primaria

La metodología empleada para realizar el Análisis de Riesgos de la Planta Primaria fue la siguiente:

1. Revisión bibliográfica del área de estudio (Proceso de Operación de la Planta Primaria).
2. Obtener un conocimiento detallado del proceso a analizar a través de la actualización y verificación en campo de los Diagramas de Tubería e Instrumentación y de Flujo de Proceso.
3. Revisión de los registros históricos de incidentes y/o accidentes, registros de calibración, prueba de líneas y válvulas de relevo (PSV's).
4. Selección y delimitación de nodos, en orden jerárquico, dentro del circuito que ha sido seleccionado para el estudio HAZOP con ayuda del equipo multidisciplinario.
5. Aplicación de la técnica HAZOP a cada nodo seleccionado.
 - a) Explicar las intenciones de diseño con el equipo HAZOP.
 - b) Seleccionar los parámetros importantes del proceso y encontrar posibles desviaciones con la ayuda de las palabras guía.
 - c) Listar las causas (estas pueden ser internas ó externas que puedan afectar la intención de diseño).
 - d) Listar las consecuencias de las desviaciones sin protecciones.
 - e) Evaluar los niveles de riesgo en base a la frecuencia y gravedad, con y sin protecciones para el establecimiento del orden jerárquico de las recomendaciones.
 - f) Listar todas las protecciones existentes, tanto para la causa como para las consecuencias.



- g) Elaborar una lista con todas las recomendaciones para reducir la probabilidad de las causas o la severidad de las consecuencias.
 - h) Reporte de la lista jerárquica de recomendaciones para cada situación y consecuencia encontrada.
6. Establecimiento del plan de trabajo para dar seguimiento a las recomendaciones obtenidas durante el estudio HAZOP.
 7. Identificar escenarios de accidentes durante la aplicación de la técnica HAZOP.
 8. Aplicación de la técnica de análisis de árbol de fallos y análisis de consecuencias para cada escenario de accidente identificado.

IV.2 Evaluación de los niveles de riesgo con la técnica HAZOP

Después de encontrar las desviaciones mediante la combinación de la palabra guía-parámetro se procede a evaluar los niveles de riesgo de las causas identificadas con base en la frecuencia y gravedad. El equipo multidisciplinario haciendo uso de su experiencia y conocimientos clasificará el nivel de frecuencia y gravedad de las consecuencias con ayuda de las tablas 15 y tabla 16 para determinar en orden jerárquico, las recomendaciones y definir el índice de riesgo del evento con la ayuda de las matrices de riesgos (Figuras XI y XII).

Para iniciar con el estudio HAZOP, es necesario contar con los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) actualizados y que el equipo multidisciplinario haya entendido la operación normal de la planta. El HAZOP debe ser conducido por un coordinador, facilitador o guía del equipo, con experiencia en realizar estudios HAZOP's (aunque no tenga experiencia en la planta que se estudie), quien promoverá la creatividad para aplicar las palabras guía, con el objeto de identificar el problema no de resolverlo.

Una vez cubiertos los puntos anteriores, se procede a dividir el proceso en circuitos. A su vez, los circuitos serán divididos en nodos. Los nodos son partes del proceso lo suficientemente pequeños para ser significativos y lo suficientemente grandes para poderse manejar, es decir, se considera como nodo un equipo con sus líneas de alimentación y descarga o aquella parte del proceso en la cual un parámetro de la operación varía.

Posteriormente se selecciona un nodo y se determinan los parámetros del mismo. Los parámetros son las condiciones físicas o químicas del proceso que pueden medirse o inferirse. Dentro de los parámetros más importantes se tienen: flujo, temperatura, presión, nivel, composición, etc.

A cada uno de los parámetros se le aplicarán las palabras guía que lo "modifican", las palabras guía que se utilizan son: no, más, menos, parte de, también como, otro que e inverso. Al aplicar una palabra



guía al parámetro se obtiene una desviación, por ejemplo si el parámetro es flujo y la palabra guía es menos, la desviación será menos flujo.

Para cada desviación hay que:

1. Identificar causas.
2. Para cada causa, determinar consecuencias asumiendo que fallen todas las protecciones o no existen.
3. Listar las salvaguardas y protecciones.
4. Determinar el nivel de riesgo para cada causa, considerando la frecuencia con la que se da la causa y la gravedad de la consecuencia.
5. Hacer recomendaciones para minimizar el riesgo, ya sea realizándolas para disminuir la frecuencia de la causa o para disminuir la gravedad de la consecuencia.

El riesgo es la probabilidad de daño y está en función de la frecuencia y de la gravedad.

El índice ó número de riesgo permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad ó no del riesgo, ó bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones a implementar deberá usar una matriz de riesgo que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad ó gravedad de las consecuencias del mismo.

La frecuencia de una causa la establecerá el equipo multidisciplinario, de acuerdo a su experiencia, en cualquiera de los siguientes rubros:

Núm.	Frecuencia	Descripción
1	Frecuente	Ocurre más de una vez al año.
2	Ocasional	Ha ocurrido varias veces durante la vida de la planta.
3	Posible	Se espera que ocurra no más de una vez en la vida de la planta.
4	Improbable	No se espera que ocurra en la vida de la planta.

Tabla 15. Tabla de Frecuencias.

La gravedad de la consecuencia también la determinará el equipo multidisciplinario, según su experiencia, considerando los siguientes parámetros:

Número	Gravedad	Evento	Descripción
1	Catastrófico	Personas	Pérdida de una o más vidas fuera de la Refinería
		Instalaciones	Daños por más de \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la Refinería
		Operación	Paro de la Refinería
2	Mayor	Personas	Un lesionado fuera de la refinería y una pérdida de vida dentro
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$2,500,000 y \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga mayor que no requiere limpieza fuera de la Refinería
		Operación	Paro de más de una planta
3	Significativo	Personas	Varios lesionados dentro de la Refinería
		Instalaciones	Daños por un monto 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 por menos de \$250,000
		Medio Ambiente	Fuga menor
		Operación	Paro del equipo o sección de planta

Tabla 16. Tabla de Gravedades.

Estos dos factores se unen en una "Matriz de Riesgos" que determina el nivel de riesgo. Los riesgos de 1 a 3 son inaceptables, de 4 son indeseables, los de 6 son aceptables con controles, mientras que del 7 al 10 son aceptables como están.

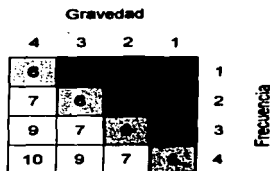


Figura XI. Matriz de riesgos.

Una vez estimado el riesgo se le asigna una letra de la A a la D para clasificar la recomendación o recomendaciones que se planteen para disminuir dicho riesgo, originando una matriz de riesgos como la que a continuación se observa.

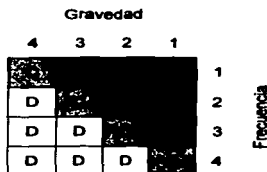


Figura XII. Matriz de Clases de Riesgo.

Nivel	Clase	D	
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

Tabla 17. Clases de Riesgo.

IV.2.2 Nodos seleccionados para el estudio

Los nodos de estudio para el Análisis HAZOP fueron las modificaciones en líneas y equipos que se han implementado en la unidad Atmosférica de la planta Primaria, se estudiaron 23 nodos los cuales se describen en la tabla 18.

No.	Descripción
1	Línea de entrada de crudo de carga de tanque hasta la succión de la AGA-1/R y AGA-2/R.
2	Antena para medición por microondas (AGAR) de concentración de agua en desaladoras AFA-1A/B y AFA-2A/B.
3	Instalación de quemadores de alta eficiencia y bajo NOx en ABA-1.
4	Interconexiones de tubería de 8" para alimentar la succión de las bombas AGA-7/R y AGA-17/R indistintamente de acumuladores AFA-3 y AFA-6.
5	Salida de gasolina primaria amarga de AEA-32A/B hacia acumuladores de gasolina de despunte AFA-3 y AFA-6.
6	Salida de gasolina ligera de AEA-32 hacia salida de gasolina estabilizada a tanques de la planta estabilizadora no. 1.
7	Integración de descarga de AGA-7/R y AGA-17/R (salida de gasolina de despunte) por PV-1002 hacia salida de gasolina amarga en L.B.
8	Bomba de querosina producto AGA-12/R.
9	Disparo de 4" para enviar gasóleo ligero primario caliente a plantas de Hidros.
10	Bomba AGA-14/R de Diesel Producto.
11	Instalación de empaque de alta eficiencia reemplazando a los platos existentes en la zona de extracción de gasóleo pesado primario a ADA-3.
12	Válvula reguladora PV-128.
13	Bomba A-GA-16A/B/R.
14	Bomba de reflujo de turbosina A-GA-10/R.
15	Bomba de turbosina producto A-GA-11/R.
16	Bomba de reflujo de gasóleo ligero primario A-GA-13/R.
17	Bomba de gasóleo pesado primario producto A-GA-15/R.
18	Bomba de crudo despuntado A-GA-5/R, fondos del A-DA-1.
19	Bomba de crudo despuntado A-GA-6/R, fondos del A-DA-2.
20	Bombas de gasolina de despunte A-GA-7/R.
21	Bombas de gasolina de despunte A-GA-17/R.
22	Línea de 8" de los acumuladores de LPG FA-301 y A-FA-51 de estabilizadora 1 y 2.
23	Instalación de quemadores de alta eficiencia y bajo NOx en ABA-2.

Tabla 18. Nodos de las modificaciones de la unidad Atmosférica de la Planta Primaria 2 a las que se les aplicó la técnica HAZOP.

A continuación se presentan algunos nodos, para ejemplificar y hacer referencia del estudio y registro del análisis HAZOP:



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 1. Línea de entrada de crudo de carga de tanque hasta la succión de la AGA-1/R y AGA-2/R.

Diagramas: 21-1/3 (ver Apéndice C)

Producto: Crudo

Desviación: 1. Alta Densidad (mayor peso específico) LOI: 0.865 Kg/cm² LOS: 0.882 Kg/cm² LSI: 0.870 Kg/cm² LSS: 0.880 Kg/cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
1. Se recibe de almacenamiento.	1. Desperfilamiento de las torres ADA-1/2/3. 2. Disminución en la producción. 3. Productos fuera de especificación. 4. Desfasamiento en los transmisores de nivel de los recipientes de la planta atmosférica. 5. Se saca a operación manual la planta. 6. Pérdida de tiempo al tener que recalibrar los instrumentos de nivel.	1. Análisis del SICOLAB. 2. Existe un densímetro con fuente radioactiva que se encuentra fuera de operación	1. Solicitar la realización de un estudio costo/beneficio para la requisición e instalación de un nuevo densímetro con fuente radioactiva para sustituir al actual que se ubica en la línea de recibo de crudo de tanques a las bombas A-GA-1/R y A-GA-2/R, ya que está obsoleto.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	B

Desviación: 2. Baja Densidad (menor peso específico) LOI: 0.865 Kg/cm² LOS: 0.882 Kg/cm² LSI: 0.870 Kg/cm² LSS: 0.880 Kg/cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
2. Se recibe de almacenamiento.	1. Desperfilamiento de las torres ADA-1/2/3. 2. Productos fuera de especificación momentáneamente. 3. Desfasamiento en los transmisores de nivel de los recipientes de la planta atmosférica.	1. Análisis del SICOLAB. 2. Existe un densímetro con fuente radioactiva que se encuentra fuera de operación	1. Solicitar la realización de un estudio costo/beneficio para la requisición e instalación de un nuevo densímetro con fuente radioactiva para sustituir al actual que se ubica en la línea de recibo de crudo de tanques a las bombas A-GA-1/R y A-GA-2/R, ya que está obsoleto.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	B

		4. Se saca a operación manual la planta.				
		5. Pérdida de tiempo al tener que recalibrar los instrumentos de nivel.				
Desviación: 3. No flujo en la línea de succión de las bombas AGA-1/R y 2/R.		LOI: 0.865 Kg/cm ²	LOS: 0.882 Kg/cm ²	LSI: 0.870 Kg/cm ²	LSS: 0.880 Kg/cm ²	
Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G R Clase	
3	1. Bajo nivel en los tanques de carga. 2. Fuga por sellos mecánicos de las bombas A-GA-1/R y 2/R. 3. Disminución de nivel en las torres de despunte A-DA-1/2. 4. Paro de planta.	1. El indicador de presión PI-101.	1. No hay.	3	2 6 D	
		2. El indicador controlador de presión PI-101.				(3) (3) (7)
		3. El indicador de flujo FI-102.				
		4. El indicador de flujo FI-103.				
		5. La PV-113 y PV-116D de combustóleo de ABA-1.				
		6. La PV-110 y PV-115 de gas combustible de ABA-1.				
		7. La PV-118 y PV-119 de combustóleo de ABA-2.				
		8. La PV-116 y PV-121 de gas combustible de ABA-2.				
		9. Recirculación de las bombas válvulas HV-101/102 en AGA-1/R y HV-103/104 en AGA-2/R				
		10. Procedimientos operativos.				
4	2. Cerrada la válvula de compuerta en el L.B. de 18" de diámetro y 150#.	1. El indicador de presión PI-101.	1. Instalar un flujo en la válvula de compuerta en el L.B. de 18" de diámetro y 150 libras.	3	2 6 D	
		2. El indicador controlador de presión PI-101.				(3) (3) (7)
		3. El indicador de flujo FI-102.				
		4. El indicador de flujo FI-103.				
		5. La PV-113 y PV-116D de combustóleo de ABA-1.				
		6. La PV-110 y PV-115 de gas combustible de ABA-1.				
		7. La PV-118 y PV-119 de combustóleo de ABA-2.				

		8. La PV-116 y PV-121 de gas combustible de ABA-2.			
		9. Recirculación de las bombas válvulas HV-101/102 en AGA-1/R y HV-103/104 en AGA-2/R			
		10. Procedimientos operativos.			
5	3. Obstrucción del RO (FI-101).	1. Cavitación de las bombas A-GA-1/R y 2/R.	1. El indicador de presión PI-101.	1. Instalar un by-pass de 14" con bloqueos laterales de 14" y 150#.	2 2 4 C (2) (3) (6)
		2. Fuga por sellos mecánicos de las bombas A-GA-1/R y 2/R.	2. El indicador controlador de presión PI-101.		
		3. Disminución de nivel en las torres de despunte A-DA-1/2.	3. El indicador de flujo FI-102.	2. Instalar bloqueos laterales al RO (FI-101) de 18" y 150#.	
		4. Paro de planta.	4. El indicador de flujo FI-103.		
			5. La PV-113 y PV-116D de combustóleo de ABA-1.		
			6. La PV-110 y PV-115 de gas combustible de ABA-1.		
			7. La PV-118 y PV-119 de combustóleo de ABA-2.		
			8. La PV-116 y PV-121 de gas combustible de ABA-2.		
			9. Recirculación de las bombas válvulas HV-101/102 en AGA-1/R y HV-103/104 en AGA-2/R		
			10. Procedimientos operativos.		
6	4. Obstrucción de las pichanchas en la succión de las A-GA-1/R, 2/R.	1. Cavitación de las bombas A-GA-1/R y 2/R.	1. El indicador de presión PI-101.	1. Instalar filtros de canasta después del bloque de L.B.	1 2 3 B (1) (3) (4)
		2. Fuga por sellos mecánicos de las bombas A-GA-1/R y 2/R.	2. El indicador controlador de presión PI-101.		
		3. Disminución de nivel en las torres de despunte A-DA-1/2.	3. El indicador de flujo FI-102.		
		4. Paro de planta.	4. El indicador de flujo FI-103.		
			5. La PV-113 y PV-116D de combustóleo de ABA-1.		
			6. La PV-110 y PV-115 de gas combustible de ABA-1.		
			7. La PV-118 y PV-119 de combustóleo de ABA-2.		
			8. La PV-116 y PV-121 de gas combustible de ABA-2.		

9. Recirculación de las bombas válvulas HV-101/102 en AGA-1/R y HV-103/104 en AGA-2/R

10. Procedimientos operativos.

11. Programa de limpieza de las pichanchas.

Desviación: 4. Menos flujo en la línea de succión de las bombas AGA-1/R y 2/R. LOI: 0.865 Kg/cm² LOS: 0.882 Kg/cm² LSI: 0.870 Kg/cm² LSS: 0.880 Kg/cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
8 1. Se suministra crudo a Primaria 1 y 2 del mismo tanque.	1. Disminución de carga a la planta. 2. Disminución de nivel en las torres de despurte A-DA-1/2. 3. Baja la producción.	1. Procedimientos operacionales. 2. Turbo-bomba de relevo. 3. Comunicación con movimiento de productos.	1. Individualizar la entrega de crudo a Primaria 1 y 2.	1	1	1	C
				(1)	(4)	(6)	



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 2. Antenas para medición por microondas (AGAR) de concentración de agua en desaladoras AFA-1A/B y AFA-2A/B.

Diagramas: 23A/B (ver Apéndice C)

Producto: Crudo y agua salada

Desviación: 1. Mayor contenido de agua

LOI: 0%

LOS: 25%

LSI: 0%

LSS: 25%

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
9	1. En el área de movimiento de productos, no se haya dado el tiempo de reposo y drenado al contenido de agua del tanque de crudo de carga	1. Por aumento de nivel de agua en las desaladoras, se disparan eléctricamente y los transformadores salen de operación.	1. Analizador AI-105 en el circuito de alimentación de carga de crudo. 2. Analizadores AI-101A/B/C para la AFA-1A, AI-103A/B/C para la AFA-1B, AI-102A/B/C para la AFA-2A, AI-104A/B/C para la AFA-2B. 3. Procedimientos operacionales para contingencias.	1. No hay.	2	4	7	D
	2. Posible presionamiento en las torres despuntadoras ADA-1 y ADA-2.				(2)	(4)	(7)	
	3. Posible aumento de nivel en las torres ADA-1 y ADA-2							
	4. Posible manchado de gasolina de despunte en AFA-3 y AFA-6.							
10	2. Descalibración de las antenas de medición (que manden una lectura falsa).	1. Por aumento de nivel de agua en las desaladoras, se disparan eléctricamente y los transformadores salen de operación. 2. Posible presionamiento en las torres despuntadoras ADA-1 y ADA-2. 3. Posible aumento de nivel en las torres ADA-1 y ADA-2 4. Posible manchado de gasolina de despunte en AFA-3 y AFA-6.	1. Analizador AI-105 en el circuito de alimentación de carga de crudo. 2. Procedimientos operacionales para contingencias. 3. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 4. Supervisión por operación y de los trabajos por DICA. 5. Capacitación tanto al personal de operación como al de mantenimiento de DICA. 6. Aplicación del procedimiento del permiso de trabajo.	1. No hay.	2	4	7	D
					(3)	(4)	(9)	



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 3. Calentadores ABA-1 y ABA-2.

Diagramas: 26A y 26B (ver Apéndice C) Producto: gas combustible y combustibleo atomizado con vapor de media

Desviación: 1. Mayor concentración de NOX LOI: 199 ppm LOS: 245 ppm LSI: 375 ppm LSS: 375 ppm

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
11	1. Baja eficiencia en la combustión.	1. Contaminación ambiental por NOX.	1. Quemadores de alta eficiencia y bajo NOX.	1. No hay.	1	4	6	D

(4) (4) (10)

Desviación: 2. Menos presión en la línea de gas combustible a pilotos LOI: 1 kg/cm² LOS: 2 kg/cm² LSI: LSS: 2 kg/cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
12	1. Gas combustible sucio, proveniente del TH-2000. 2. En caso de una emergencia, si no se tienen los pilotos prendidos, se tiene que vaporizar el calentador ABA-1/2 momentáneamente para encender los quemadores de gas, evitando una explosión por gas remanente 3. Se enfría la temperatura de los serpentines. 4. Se modifica el calor latente de vaporización. 5. En la torre ADA-3 se incrementa la cantidad de residuo primario, disminuyendo los porcentajes de los otros productos de la destilación.	1. Filtros en la línea de gas combustible. 2. Alarma por baja presión PAL-124B/E en la línea de gas combustible a pilotos en el A-BA-1. 3. Alarma por baja presión PAL-125B/E en la línea de gas combustible a pilotos en el A-BA-2. 4. Procedimientos operacionales. 5. Supervisión operacional.	1. Solicitar la propuesta para la instalación de filtros en las líneas de gas combustible de la unidad atmosférica.	1	3	4	C

13	<p>2. Baja eficiencia en los filtros ubicados en la línea de gas a pilotos.</p>	<p>1. Se tapan y se apagan los pilotos.</p> <p>2. En caso de una emergencia, si no se tienen los pilotos prendidos, se tiene que vaporizar el calentador ABA-1/2 momentáneamente para encender los quemadores de gas, evitando una explosión por gas remanente</p> <p>3. Se enfría la temperatura de los serpentines.</p> <p>4. Se modifica el calor latente de vaporización.</p> <p>5. En la torre ADA-3 se incrementa la cantidad de residuo primario, disminuyendo los porcentajes de los otros productos de la destilación.</p>	<p>1. Filtros en la línea de gas combustible.</p> <p>2. Alarma por baja presión PAL-124B/E en la línea de gas combustible a pilotos en el A-BA-1.</p> <p>3. Alarma por baja presión PAL-125B/E en la línea de gas combustible a pilotos en el A-BA-2.</p> <p>4. Procedimientos operacionales.</p> <p>5. Supervisión operacional.</p>	<p>1. Solicitar la propuesta para la instalación de filtros en las líneas de gas combustible de la unidad atmosférica.</p>	<p>1 3 4 C</p> <p>(1) (4) (6)</p>
----	---	---	--	--	--

Desviación: 3. Picadura de las mangueras de acero inoxidable del gas combustible a pilotos **LOI:** 1 kg/cm² **LOS:** 2 kg/cm² **LSI:** **LSS:** 2 kg/cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
14	<p>1. El gas contiene alto contenido de cloruros.</p>	<p>1. Fuga e incendio en las mangueras del gas combustible a pilotos y quemadores.</p>	<p>1. No hay.</p>	<p>1. Efectuar el cambio de las mangueras actuales de gas combustible de los calentadores A-BA-1/2, por mangueras de nitró.</p> <p>2. Solicitar la propuesta para la instalación de filtros en las líneas de gas combustible de la unidad atmosférica.</p>	<p>1</p> <p>(1)</p>	<p>3</p> <p>(3)</p>	<p>4</p> <p>(4)</p>	<p>B</p>



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 4. Interconexión de tubería de 6" para alimentar la succión de las bombas AGA-7/R y AGA-17/R indistintamente de acumuladores AFA-7 y AFA-6.

Diagramas: 23A y 23B (ver Apéndice C)

Producto: Gasolina amarga de despunte

Desviación: 1. No Flujo

LOt: -

LOS: -

LSI: -

LSS: -

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
15	1. No hay nivel en AFA-3 y AFA-6. 2. Cavitación y daño a los internos de las bombas AGA-7/R y 17/R. 3. Falla de la carga a la Estabilizadora No. 2. 4. Falla de la carga a la Planta Hidros No. 2. 5. Paro de planta.	1. Alarmas por bajo nivel LAL-106 y LAL-112 en AFA-3 y AFA-6 respectivamente, con señal al SCD. 2. Indicador de nivel LG-103 y 104 en AFA-3 y AFA-6 respectivamente.	1. No hay.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	C
16	2. Falla de condensación en los AEA-15/R y AEA-16. 2. Cavitación y daño a los internos de las bombas AGA-7/R y 17/R. 3. Falla de la carga a la Estabilizadora No. 2. 4. Falla de la carga a la Planta Hidros No. 2. 5. Paro de planta.	1. Alarmas por bajo nivel LAL-106 y LAL-112 en AFA-3 y AFA-6 respectivamente, con señal al SCD. 2. Indicador de nivel LG-103 y 104 en AFA-3 y AFA-6 respectivamente.	1. No hay.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	C



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 5. Salida de gasolina primaria amarga de AEA-32A/B hacia acumuladores de gasolina de despumte AFA-3 y AFA-6.

Diagramas: 25, 28-2/3 (ver Apéndice C)

Producto: Gasolina primaria amarga

Desviación: 1. Mas flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
17	1. Abiertos los bloques de 4" de esta línea.	1. Alarma por alto nivel LAH-106 y LAH-112 en el AFA-3 y AFA-6, respectivamente. 2. Indicadores de presión PI-153 y PI-160 en el AFA-3 y AFA-6, respectivamente. 3. Indicador de presión PIC-106A/B. 4. Indicador de flujo FI-114A/B a la descarga de las bombas AGA-7/R y AGA-17/R. 5. Análisis del SICOLAB. 6. FI-701 de la planta estabilizadora no. 2. 7. LIC-106 y LAL-128 en AFA-4. 8. Supervisión de movimientos por el supervisor A.	1. No hay.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 6. Salida de gasolina ligera de A-EA-32 hacia salida de gasolina estabilizada a tanques de la planta estabilizadora no. 1.

Diagramas: 28-2/3 (ver Apéndice C)

Producto: gasolina ligera

Desviación: 1. Mas flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
18 1. Abiertos los bloques de 4" de esta línea.	1. Disminución de nivel en el AFA-4. 2. Cavitación y daño a las bombas AGA-8/R y AGA-9/R.	1. El LIC-108 y LAL-128 en AFA-4. 2. Supervisión de movimientos por el supervisor A. 3. Indicadores de presión PI-188A/B/C/D en la descarga de las bombas AGA-8/R y AGA-9/R. 4. Supervisión operacional.	1. No hay.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 7. Integración de descarga de AGA-7/R/17/R (salida de gasolina amarga de despunte) por PV-1002 hacia salida de gasolina amarga en limite de batería.

Diagramas: 25 (ver Apéndice C)

Producto: gasolina amarga

Desviación: 1. Mas flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
19	1. Se queda atorada en posición de abierto la válvula PV-1002 o se pasa cualquiera de sus bloqueos.	1. Disminución de la carga a la planta Estabilizadora No. 2. 2. Disminución de nivel en AFA-3 y AFA-6. 3. Cavitación y daño a las bombas A-GA-7/R/17/R.	1. LAL-106 del AFA-3 y LAL-112 del AFA-6. 2. LV-106 y LV-112 a la descarga de las bombas AGA-7/R/17/R. 3. PI-156A/B de AGA-7/R y PI-157A/B de AGA-17/R. 4. FI-114A/B a la descarga de las bombas AGA-7/R/17/R. 5. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 6. Supervisión por operación y de los trabajos por DICA. 7. Capacitación tanto al personal de operación como al de mantenimiento de DICA.	1. No hay.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 9. Disparo de 4" para enviar gaseoleo ligero primario caliente a plantas de Hidros.

Diagramas: 22-2/2 (ver Apéndice C)

Producto: Crudo

Desviación: 1. Mas flujo a Hidros

LOI: 12,500 BPD

LOS: 28,000 BPD

LSI: 12,500 BPD

LSS: 28,000 BPD

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
30 1. Válvula FV-106B en posición de abierto y la V-1 abierta.	1. Bajo nivel del agotador ADA-6. 2. Aumento de la temperatura de extracción de GOLP en ADA-3. 3. Aumento momentáneo y disminución del intercambio de calor en AEA-9A/B y AEA-10A/B. 4. Fuga por las juntas del cabezal y la junta de la concha fija de los AEA-9A/B y AEA-10A/B. 5. Cavitación y daños de las bombas AGA-14/R. 6. Fuga por sellos de la bomba AGA-14/R. 7. Producto fuera de especificación momentánea.	1. El FT-106B de la línea de 4" que se está estudiando. 2. Alarma por alto flujo del FIC-106B. 3. Alarma por bajo nivel del LIC-117 en el ADA-6. 4. Alarma por alta temperatura TIC-128 en la línea de extracción de GOLP. 5. Los TI-1108 y TI-111C del A-EA-9A/B y A-EA-10A/B. 6. El PI-182A/B en la descarga de las bombas AGA-14/R. 7. Análisis del SICOLAB. 8. Supervisión operacional y capacitación.	1. No hay.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D

31	<p>2. Válvula FV-106B se queda abierta por encontrarse atorada.</p>	<p>1. Bajo nivel del agotador ADA-6.</p> <p>2. Aumento de la temperatura de extracción de GOLP en ADA-3.</p> <p>3. Aumento momentáneo y disminución del intercambio de calor en AEA-9A/B y AEA-10A/B.</p> <p>4. Fuga por las juntas del cabezal y la junta de la concha fija de los AEA-9A/B y AEA-10A/B.</p> <p>5. Cavitación y daños de las bombas AGA-14/R.</p> <p>6. Fuga por sellos de la bomba AGA-14/R.</p> <p>7. Producto fuera de especificación momentánea.</p>	<p>1. Programa de mantenimiento preventivo a lazo de control.</p> <p>2. El FT-106B de la línea de 4" que se está estudiando.</p> <p>3. Alarma por alto flujo del FIC-106B.</p> <p>4. Alarma por bajo nivel del LIC-117 en el ADA-6.</p> <p>5. Alarma por alta temperatura TIC-128 en la línea de extracción de GOLP.</p> <p>6. Los TI-110B y TI-111C del A-EA-9A/B y A-EA-10A/B.</p> <p>7. El PI-182A/B en la descarga de las bombas AGA-14/R.</p> <p>8. Análisis del SICOLAB.</p> <p>9. Supervisión por operación y de los trabajos por DICA.</p> <p>10. Capacitación tanto al personal de operación como al de mantenimiento de DICA.</p> <p>11. Aplicación del procedimiento del permiso del trabajo.</p>	1. No hay.	<p>1 3 4 D</p> <p>(2) (4) (7)</p>
----	---	---	--	------------	-----------------------------------

32	3. Válvula FV-106B este abierta o cerrada y se pase el directo.	1. Bajo nivel del agotador ADA-6. 2. Aumento de la temperatura de extracción de GOLP en ADA-3.	1. El FT-106B de la línea de 4" que se está estudiando. 2. Alarma por alto flujo del FIC-106B.	1. No hay.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D
		3. Aumento momentáneo y disminución del intercambio de calor en AEA-9A/B y AEA-10A/B.	3. Alarma por bajo nivel del LIC-117 en el ADA-6.					
		4. Fuga por las juntas del cabezal y la junta de la concha fija de los AEA-9A/B y AEA-10A/B.	4. Alarma por alta temperatura TIC-128 en la línea de extracción de GOLP.					
		5. Cavitación y daños de las bombas AGA-14/R.	5. Los TI-110B y TI-111C del A-EA-9A/B y A-EA-10A/B.					
		6. Fuga por sellos de la bomba AGA-14/R.	6. El PI-182A/B en la descarga de las bombas AGA-14/R.					
		7. Producto fuera de especificación momentánea.	7. Análisis del SICOLAB.					
			8. Supervisión por operación.					
			9. Capacitación al personal de operación.					



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 11. Empaque de alta eficiencia reemplazando los platos en la zona de extracción de gasoleo pesado primario (platos 26 a 32) y zona de residuos (platos 34 a 37) de la torre fraccionadora ADA-3.

Diagramas: 27A (ver Apéndice C)

Producto: Kerosina, turbosina, diesel, naftas, gasoleo pesado primario.

Desviación: 1. Menos eficiencia en la zona de extracción de gasoleo pesado primario.

LOI: LOS: LSI: LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
44	1. Incremento de temperatura en los ABA-1 y ABA-2. 2. Mayor contenido de metales en el gasoleo pesado primario del AFA-8. 3. Cambio de la coloración de la corriente de gasoleo pesado primario del AFA-8. 4. Taponamiento de las pichanchas de la AGA-15R. 5. Disminución del intercambio de calor por obstrucción del lado cuerpo de los AEA-5 y AEA-6.	1. Análisis del SICOLAB.	1. No hay. 4. TI-100-8 y 100-4 a la salida lado tubos de los AEA-5 y AEA-6, respectivamente. 5. Programa predictivo por mantenimiento de plantas.	2	3	6	D
		2. Alarmas por alta temperatura TAH-100-94, 100-83, 100-S2, 100-91 TAH-149, 150, 151, 152, 253, 154, 155 y 156 en las líneas de salida del calentador ABA-2.					
		3. Indicación de presión PI-177A y 176B en la descarga de las bombas AGA-15R y el PI-1044 en la succión de la bomba AGA-15.					
		4. TI-100-8 y 100-4 a la salida lado tubos de los AEA-5 y AEA-6, respectivamente.					
		5. Programa predictivo por mantenimiento de plantas.					
45	2. Cambio en la composición de la carga de crudo 2. Cambio de la coloración de la corriente de gasoleo pesado primario del AFA-8.	1. Análisis del SICOLAB.	1. No hay.	1	3	4	B



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 12. Válvula reguladora PV-128

Diagramas: 27B-1/2 (ver Apéndice C)

Producto: Residuo atmosférico

Desviación: Operación Manual de la válvula PV-128

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
46 1. Presionamiento de la bomba AGA-16A/B/R	1. No hay control de la presión diferencial hacia los AEA-24A/B. 2. No hay un adecuado agotamiento de la kerosina o puede presentarse un cracking. 3. Fuga por sellos de las bombas AGA-16/R. 4. No se da un intercambio de calor adecuado en los AEA-13 y 14.	1. Procedimientos operacionales. 2. Análisis del SICOLAB.	1. Instalar dobles sellos mecánicos en las bombas A-GA-16A/B/R.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	B



Planta: Unidad Atmosférica

Nodo: 22. Línea de 8" de los acumuladores de LPG FA-301 y A-FA-51 (de estabilizadora 1 y 2 respectivamente)

Diagramas: 28-1/3 (ver Apéndice C)

Producto: Gas seco

Desviación: 1. No flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
122 1. Envío de gas seco de FA-301 y A-FA-51 a catalítica 1	1. Envío de gas seco a la red de gas combustible. 2. Envío de gas seco al destoque. 3. Corrosión en la red de gas combustible. 4. Mayor contenido de sulfídrico en los gases de combustión de los calentadores de la refinería.	1. FI-204 de estabilizadora 1 y FI-204B de estabilizadora 2. 2. Supervisión operacional.	1. No hay.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C

IV.2.3 Recomendaciones

Del análisis HAZOP realizado a las modificaciones en líneas y equipos implementadas en esta unidad, se obtuvo como resultado una serie de recomendaciones, las cuales se presentan a continuación en orden jerárquico, los escenarios en los cuales se fundamentan dichas recomendaciones están numerados y se sugiere revisar las hojas de registro de las sesiones HAZOP si se desea saber cual es el escenario que dio origen a esa recomendación.

1.	Solicitar la realización de un estudio costo/beneficio para la requisición e instalación de un nuevo densímetro con fuente radioactiva para sustituir al actual que se ubica en la línea de recibo de crudo de tanques a las bombas A-GA-1/R y A-GA-2/R, ya que está obsoleto.	1, 2	B
2.	Efectuar el cambio de las mangueras actuales de gas combustible de los calentadores A-BA-1/2, por mangueras de nitrilo.	8	B
3.	Solicitar la propuesta para la instalación de fitros en las líneas de gas combustible de la unidad atmosférica.	6, 7, 8	B
4.	Instalar dobles sellos mecánicos en las bombas A-GA-12/R, A-GA-14/R.	14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35	B
5.	Solicitar la realización del estudio para que se instalen unas bombas con mayor NPSH que sustituyan a las bombas A-GA-12/R actuales de kerosina producto.	23	B
6.	Colocar conexión (bypass) de la línea de descarga a la descarga de las bombas AGA-10/R, AGA-11/R, AGA-13/R, AGA-14/R, AGA-15/R antes del check.	38, 37, 56, 57, 69, 70, 80, 81, 92, 93	B
7.	Instalar dobles sellos mecánicos en las bombas A-GA-5/R, A-GA-6/R, A-GA-7, A-GA-10/R, A-GA-11/R, A-GA-13/R, A-GA-15/R, A-GA-16A/B/R, A-GA-17.	40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114, 115	B

Tabla 19. Recomendaciones jerarquizadas resultantes del análisis de riesgos HAZOP realizado a modificaciones implementadas en la unidad atmosférica de la planta primaria.



IV.2.4 Lista de buenas practicas de operación que se originaron del estudio HAZOP

El siguiente listado de actividades son buenas prácticas de operación, mantenimiento y seguridad industrial, siendo éstas las protecciones para la prevención de eventos extraordinarios en la Unidad Atmosférica de la planta Primaria. Para dar cumplimiento a éstas, se cuenta con programas de actividades establecidos y se recomienda la continuación de su aplicación para el funcionamiento seguro de las instalaciones de la planta.

NUM.	ACTIVIDAD O PROGRAMA
1.	Lectura y registro de variables operativas en campo
2.	Recorridos en campo
3.	Programa mensual de corrido de válvulas automáticas
4.	Mantenimiento preventivo y predictivo a bombas
5.	Mantenimiento preventivo a instrumentos
6.	Rotación de equipo dinámico
7.	Mantenimiento a lógicos de protección
8.	Calibración Preventiva de Líneas
9.	Calibración Preventiva de Equipos
10.	Revisión y Calibración de Nipierías
11.	Calibración de Válvulas de Alivio
12.	Revisión de Válvulas de Venteo y Arrestadores de Flama
13.	Prueba de Hermeticidad en Válvulas Check
14.	Revisión de Tornillería
15.	Evaluación de Corrosión en Plantas
16.	Evaluación de Corrosión en Torres de Enfriamiento
17.	Inspección de Ductos
18.	Inspección de Dispositivos de Seguridad de Equipos
19.	Inspección Preventiva de Calentadores y Hornos
20.	Revisión de Tuberías
21.	Inspección Visual de Solcaires
22.	Inspección Preventivas de Riesgos
23.	Revisión, Prueba y Limpieza de Drenajes
24.	Inspección Preventiva a Subestaciones y Registros Eléctricos
25.	Simulacros Operacionales
26.	Revisión de Equipos de Protección Personal Fijos
27.	Pláticas de Seguridad
28.	Campaña de Seguridad
29.	Revisión y Mantenimiento de Equipo de Protección Contra incendio
30.	Prueba de Operación de Vehículos de Contra incendio
31.	Pláticas / Prácticas Contra incendio
32.	Simulacros Contra incendio
33.	Revisión y Mantenimiento de Equipo Fijo de Contra incendio
34.	Control de Emisiones de Contaminantes
35.	Funcionamiento de Quemadores de Campo
36.	Seguridad Radiológica
37.	Seguridad Radiológica
38.	Auditorías
39.	Pruebas de Sistemas de Detección de Humos, Fuego, Explosividad y Toxicidad
40.	Inspección de Cilindros de Gases Comprimidos
41.	Campaña de Seguridad

42.	Revisión y Mantenimiento de Equipo de Protección Contra incendio
43.	Prueba de Operación de Vehículos de Contra incendio
44.	Pláticas / Prácticas Contra incendio
45.	Simulacros Contra incendio
46.	Revisión y Mantenimiento de Equipo Fijo de Contra incendio
47.	Control de Emisiones de Contaminantes
48.	Funcionamiento de Quemadores de Campo
49.	Seguridad Radiológica
50.	Auditorías
51.	Pruebas de Sistemas de Detección de Humos, Fuego, Explosividad y Toxicidad
52.	Inspección de Cilindros de Gases Comprimidos

IV.3 Análisis de árbol de fallas

La técnica de AAF fue usada para la evaluación de los siguientes escenarios que resultaron del análisis HAZOP y recomendaciones de los ingenieros de operación:

1. Fuga en las bombas AGA-8/R o AGA-9/R de carga a las torres ADA-1, 2 y 3.

<p>Fuga en las bombas AGA-8/R y 9/R de carga a las torres ADA-1, 2 y 3.</p>	<p>Se puede originar la fuga al dañarse los empaques de las bridas de succión y/o descarga, por falla de los sellos de las bombas AGA-8/R y 9/R y por que no se hayan instalado adecuadamente algunas de sus partes después de haberle realizado el mantenimiento.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga incontrolable de sustancias inflamables y tóxicas, provocando daños al personal, medio ambiente e instalaciones. 2. Formación de nube no confinada inflamable, tóxica y explosiva provocando daños al personal, medio ambiente e instalaciones. 3. Explosión y/o incendio.
---	--	--

IV.3.1 Elaboración del árbol de fallas

El árbol de fallas es como un árbol genealógico en el que el evento culminante es la cabeza del árbol (primer nivel); después de este evento, se derivan otros eventos en un segundo nivel que son las causas que originan el primer nivel. Posteriormente, de cada evento del segundo nivel se derivan más eventos formando un tercer nivel y así sucesivamente, hasta llegar a los eventos más simples o "eventos raíces". La información para elaborar el árbol de fallas, se recopiló de:

- La experiencia de asesores e ingenieros de la planta.
- Del manual de operación de la plantas primaria.
- De bibliografía reportada de fallas similares, etc.

Para este escenario se elaboró el Árbol de Fallas FQ-AF-1/2 y 2/2, donde se indican los eventos que se deben suscitar para que se genere el evento culminante que se está estudiando, así mismo, se indica la probabilidad de que se suscite dicho evento culminante. Estos diagramas se pueden consultar en las páginas siguientes (125 y 126).

Como se puede observar en el diagrama de Árbol de Fallas, se repiten varios eventos, como: nula supervisión durante el trabajo, falla por error humano, entre otros. Si a cada evento le asignamos su probabilidad, los cuales al sumarse darán una probabilidad mayor, pero exagerada. Por ello se recurre al Álgebra Booleana, donde las operaciones son distintas al Álgebra Lineal. Por ejemplo cuando un evento se repite, en el álgebra lineal se multiplica, pero en el Álgebra Booleana solo se deja un evento no importando si hay dos o 10 más. Para optimizar el árbol, se utilizan principalmente las propiedades de identidad y de absorción, las cuales permiten tener valores de probabilidad de ocurrencia reales. Al desarrollar y analizar el Árbol de Fallas para este evento se llega a la conclusión de que no se puede reducir, por tener solo compuertas lógicas del tipo O y por lo tanto la probabilidad la podríamos calcular con una sumatoria de los eventos raíz.

Primero se enumero a cada evento no desarrollado como M/ y a los eventos básicos como B/, donde / es el número secuencial del evento. De un lado de la ecuación esta el evento culminante y del otro se encuentran las sumas de los eventos de los subniveles. La intención es dejar el lado derecho de la igualdad en términos de eventos básicos.

La probabilidad de que este evento se suscite disminuye aún más ya que las bombas AGA-8/R y 9/R cuentan con un doble sello mecánico. El criterio utilizado para asignar las probabilidades a los eventos básicos en el árbol de fallas es el siguiente:

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



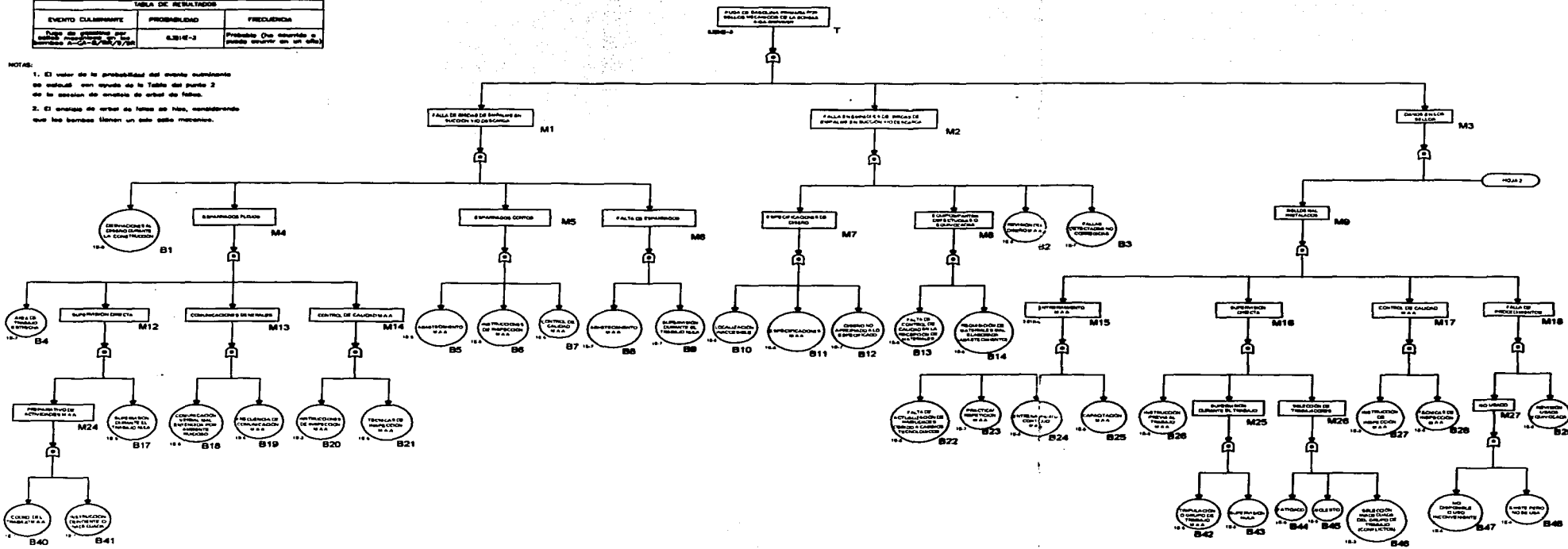
El evento culminante tiene una probabilidad de ocurrencia de 6.38×10^{-3} , por lo que es probable que se suscite este escenario, es decir, que puede o ha ocurrido en un año.

Para minimizar la probabilidad de ocurrencia de este evento se recomiendan las siguientes buenas prácticas de trabajo:

- Mantener siempre actualizados y en español los procedimientos de operación, mantenimiento, etc.
- Contar con los procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo a equipo dinámico.
- Supervisar que el trabajo se realice conforme se establece en el procedimiento.
- Mantener en forma frecuente la comunicación entre ingenieros y obreros, utilizando la terminología estándar, realizando repeticiones y retroalimentaciones, no dando mensajes muy largos y evitar realizarlas en ambientes ruidosos.
- Continuar dando mantenimiento preventivo y predictivo a los equipos de proceso e instrumentos de control en las fechas establecidas, utilizando el material original y adecuado.

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO OCURRIENTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
Fuga de gasolina primaria por falla de control de la válvula de cierre	0.81E-3	Probable (Se esperaba a poder ocurrir en un año)

- NOTAS:
- El valor de la probabilidad del evento ocurriente se obtuvo con ayuda de la Tabla del punto 2 de la sección de análisis de árbol de fallas.
 - El análisis de árbol de fallas se hizo considerando que las bombas tienen un solo solo mecanismo.



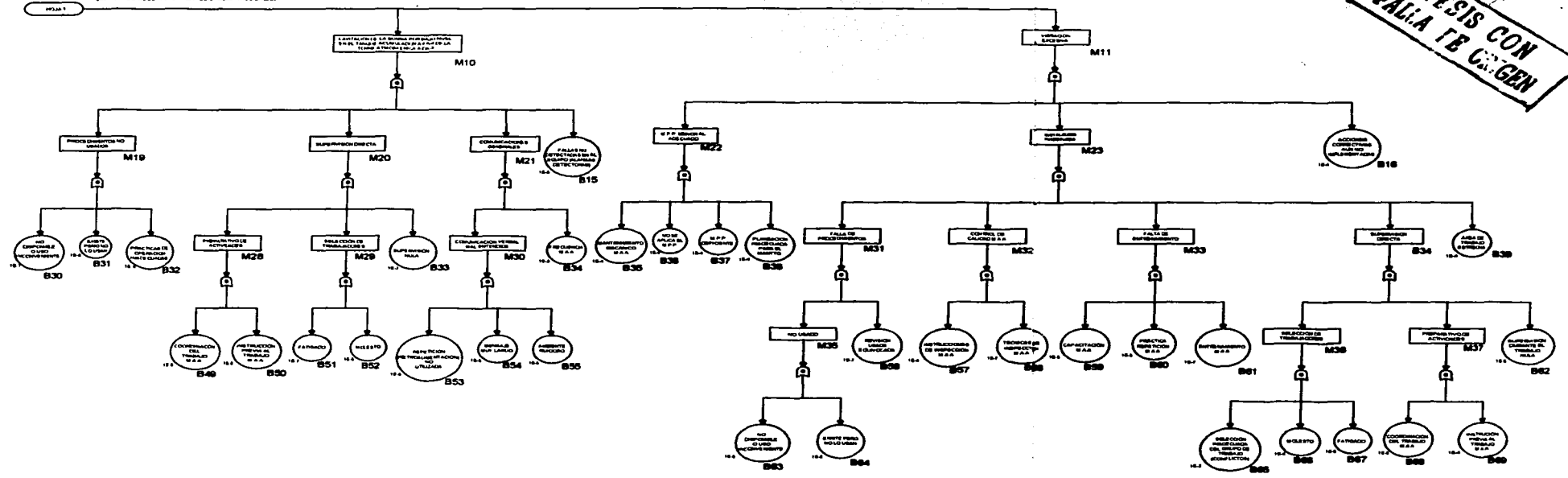
M.A.A.: menor al calculado
 M.P.P.: mantenimiento preventivo/predictivo

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO OCURENTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
NO SE DETECTA EL FUGA DE GASOLINA PRIMARIA DE A-QA-SINVER	0.3142-3	Probable Que ocurra en un año

- NOTAS:
- El valor de la probabilidad del evento mencionado se obtuvo con ayuda de la tabla del punto 2 de la literatura de estudio de árbol de fallas.
 - El análisis de árbol de fallas se hizo, considerando que los eventos tienen un solo modo de ocurrencia.

TESIS CON FALLA TB C-GEN



M.A.A.: menor al objetivo
M.P.P.: mantenimiento preventivo/predictivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS FUGA DE GASOLINA PRIMARIA DE A-QA-SINVER	
SECCION/AREA	DIAGRAMA: FO-AP-2/2
DESTILACION ATOMFERICA	PÁGINA: 126



IV.4 Resultados del análisis de consecuencias

En la actualidad, existen varios paquetes de software comerciales, que sirven para realizar este tipo de análisis. Entre ellos podemos mencionar: el *Archio*, el *SCRI* o el *PHAST*. Los cuales consideran principalmente los siguientes aspectos:

1. Efectos de fuegos y explosiones
2. Estimación de fugas
3. Dispersión de gases
4. Evaluación de riesgos

Para este análisis se utilizó el software *PHAST* (Process Hazard Analysis Safety Tool) versión 6.0. especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación. Este software ha sido aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (INE), en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgo.

La mayoría de los accidentes en plantas de proceso son resultado de fugas por poros en secciones de alta presión, incendios en calentadores por fuga o ruptura de sus tubos, así como por presionamiento en equipos críticos por manejar altas temperaturas y altas presiones.

Los modelos matemáticos simulan la descarga de estos materiales, generando información muy útil para determinar las consecuencias de suscitarse un accidente, incluyendo la velocidad de descarga del material, la cantidad total que es descargada y el estado físico del material descargado. Esta información es valiosa para evaluar el diseño de nuevos procesos y en el caso de procesos en operación, evalúa los sistemas de seguridad existentes en la instalación.

Los modelos están constituidos por ecuaciones empíricas o fundamentos que representan el proceso fisicoquímico que ocurre durante la descarga de un material.

Frecuentemente los resultados son sólo estimados desde las propiedades físicas, por lo que la mayoría de los modelos tienden a maximizar la tasa de descarga y la cantidad descargada. Esto asegura que la modelación se encuentra "del lado seguro".



IV.4.1 Consideraciones para el estudio

A continuación se describen las consideraciones para la simulación de eventos:

1. Las composiciones de las mezclas generadas para este estudio, fueron tomadas de los balances de materia de la planta.
2. Adicionalmente, para realizar las simulaciones en el software PHAST se tomaron las siguientes consideraciones:
 - El orificio formado por corrosión en bridas, selos de las válvulas y en las líneas analizadas es de forma regular y de un diámetro determinado. El diámetro equivalente del orificio varía desde 3.17 mm (0.125") hasta 12.70 mm (0.5").
 - Las condiciones de presión y temperatura se tomaron de los diagramas de flujo de proceso de cada equipo.
 - Se contempló un tiempo máximo para la detección y control de la fuga de 5 minutos, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo máximo para la detección del evento por parte del personal de PEMEX y tiempo que ocupa el personal de mantenimiento u operación para llegar al lugar exacto de la fuga y controlarla.
 - Básicamente se consideraron tres condiciones ambientales: en la primera se consideró una velocidad del viento de 1.5 m/s con estabilidad ambiental clase F por ser las condiciones meteorológicas para el peor escenario (tabla 20.), de acuerdo con el INE y con el "RMP Offsite Consequence Analysis" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA); en la segunda se utilizó la velocidad del viento promedio de la región de 2.2 m/s, con estabilidad ambiental clase E por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo y como tercera condición se utilizó la velocidad de 4.0 m/s con estabilidad ambiental clase D, por ser las características promedio menos favorables para generar eventos de riesgo.
 - Se consideró una temperatura ambiental media del área de 17 °C y una humedad relativa media anual de 75%.
 - Los radios que se presentan en caso de un evento de antorcha o chorro de fuego, se determinaron a partir de la evaluación de diferentes flujos térmicos, los cuales se indican en la tabla 21, y de los diferentes niveles de sobrepresión que se muestran en la tabla 22.

A	Estable	Noches con nubes moderadas y vientos moderados
A/B	Inestable	Como en A, solo menos soleado y mas nublado
B	Inestable	Como en A/B, solo menos soleado y mas nublado
B/C	Moderadamente inestable	Sol y viento moderado
C	Moderadamente inestable	Muy nublado
C/D	Moderadamente inestable	Sol moderado y vientos ligeros
D	Neutral	Poco sol, nubes altas, noches nubladas
E	Moderadamente Estable	Menos noches nubladas
F	Estable	Nubes moderadas y vientos ligeros y moderados
G	Muy estable	Posible neblina

Tabla 20. Estabilidad de Pasquill.

RADIACIÓN	
1.4 kW/m ² (440 BTU/h/ft ²)	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este límite se considera como zona de seguridad
5.0 kW/m ² (1,268 BTU/h/ft ²)	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2° grado sin la protección adecuada. Esta radiación será considerada como límite de zona de amortiguamiento
12.5 kW/m ² (3,963 BTU/h/ft ²)	Es la energía mínima requerida para la ignición pilotada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 1% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como zona de alto riesgo

Tabla 21. Niveles de radiación.

PRESIÓN	
0.5 lb/pulg ² (0.02 bar)	La sobrepresión a la que se presenta rupturas del 10% de ventanas de vidrio y algunos daños a techos; este nivel tiene la probabilidad del 95% de que no ocurran daños serios. Esta área se considerará como límite de la zona de salvaguarda
1 lb/pulg ² (0.13 bar)	Es la presión en la que se presenta destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios; provoca el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles. De 0,5 a 1 lb/pulg ² se considerará como la zona de amortiguamiento
2 lb/pulg ² (0.20 bar)	A esta presión se presenta el colapso parcial de techos y paredes de casas. De 1 a 2 lb/pulg ² se considera como la zona de exclusión (riesgo).

Tabla 22. Niveles de sobrepresión.

**IV.4.2 Eventos seleccionados****Caso 1: Fuga de gasolina primaria por sellos mecánicos de la bomba AGA-3/R.**

La fuga de gasolina primaria se presenta con un flujo de 2. 311 kg/s; considerando un tiempo máximo estimado de control de 300 s, se espera que ocurra como evento máximo posible y máximo catastrófico el evento conocido como Jet fire y una explosión por ignición tardía. En el apéndice D de este trabajo se describe con mas detalle los efectos de sobrepresión y radiación sobre la planta (para el caso 1 se realizaron los diagramas de afectación FQ-AC-01/02/03).

CATEG.	1.5m/s, F	64.74 m	51.86 m	46.34 m
	2.2m/s, E	61.87 m	48.65 m	43.09 m

CATEG.	1.5m/s, F	34.76 m	28.98 m	25.66 m

Caso 2: Fuga de gasolina primaria por sellos mecánicos de la bomba AGA-3/R.

La fuga de gasolina primaria se presenta con un flujo de 2. 772 kg/s; considerando un tiempo máximo estimado de control de 300 s, se espera que ocurra como evento máximo posible y máximo catastrófico el evento conocido como Jet fire y una explosión por ignición tardía. (para el caso 2 se realizaron los diagramas de afectación FQ-AC-04/05/06/07 localizados en el apéndice D de este trabajo).



JET FIRE		DISTANCIA (m)		
		1.5	2.2	3.0
CATEG.	1.5m/s, F	70.14 m	56.29 m	50.23 m
	2.2m/s, E	66.98 m	52.83 m	48.79 m

EXPLORACION		DISTANCIA (m)		
		1.5	2.2	3.0
CATEG.	1.5m/s, F	36.24 m	29.89 m	26.23 m
	2.2m/s, E	35.68 m	29.55 m	26.02 m

Los diagramas donde se representan los escenarios estudiados son (los cuales se pueden revisar en el apéndice D):

Escenario	Distancia
AGA-8/R	FQ-AC-01
	FQ-AC-02
	FQ-AC-03
AGA-9/R	FQ-AC-04
	FQ-AC-05
	FQ-AC-06
	FQ-AC-07

IV.4.3 Graficas de las consecuencias por fuga de la bomba A-GA-8/R

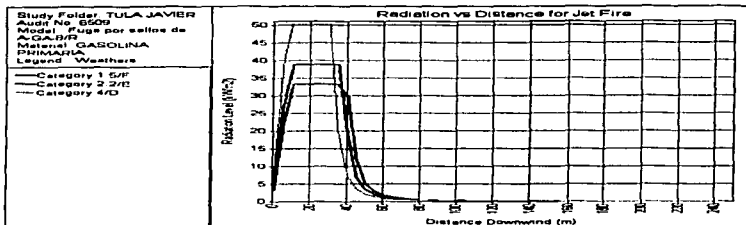


Figura XIII. Radiación vs distancia a favor del viento, para el dardo de fuego.

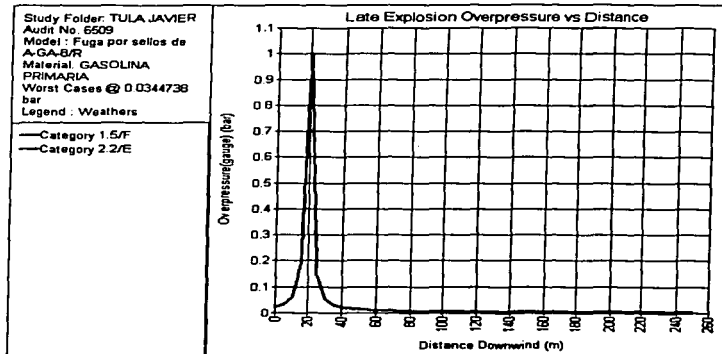


Figura XIV. Explosión tardía por sobrepresión (bar) vs distancia a favor del viento (m).

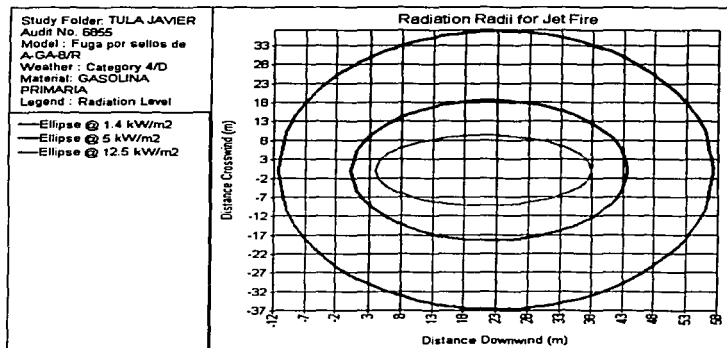


Figura XV. Radios de radiación del dardo de fuego, distancia en contra viento vs distancia a favor del viento.

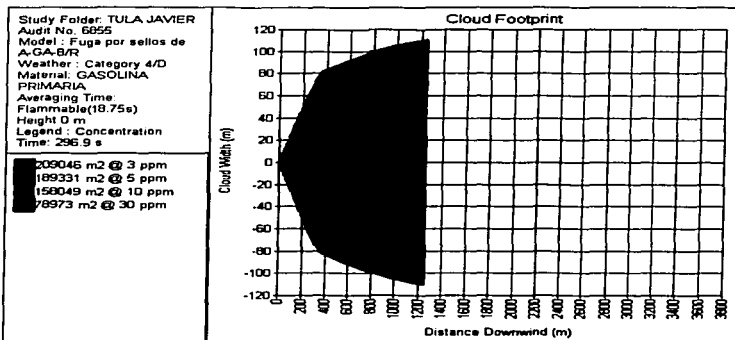


Figura XVI. Huella de la nube por la fuga por sellos, ancho de la nube (m) vs distancia a favor del viento (m).

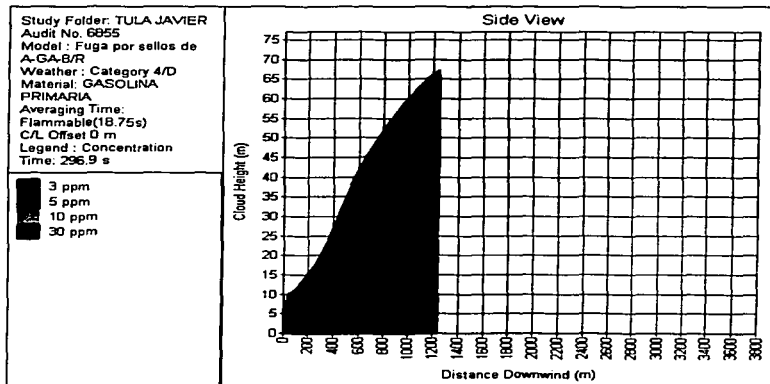


Figura XVII. Vista lateral de la fuga por sellos, altura de la nube (m) vs distancia a favor del viento(m).



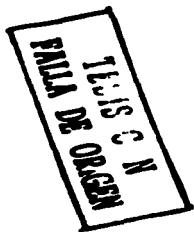
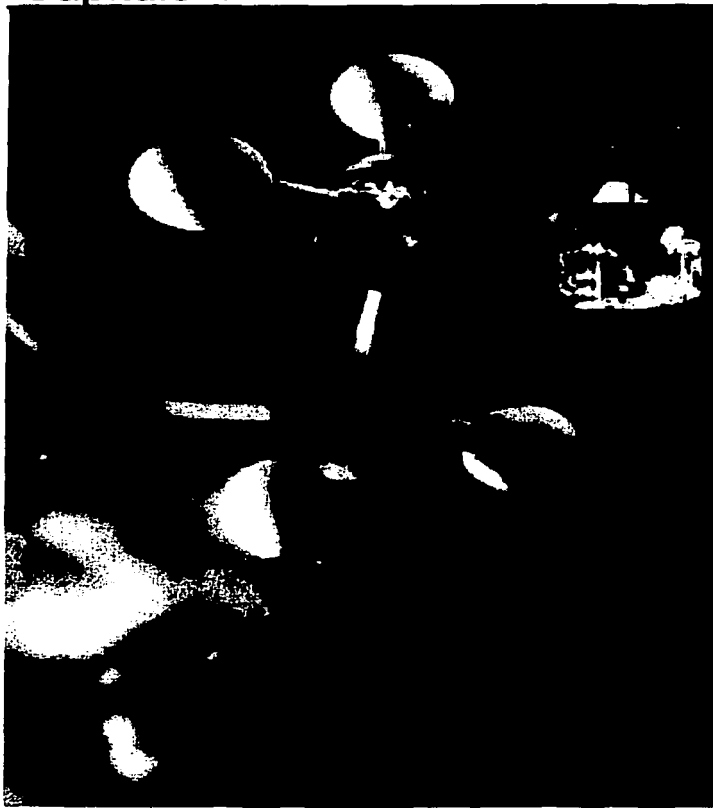
IV.4.4 Conclusiones del análisis de consecuencias

- Aplicar en forma religiosa los sistemas de permisos de trabajo tanto para trabajos de bajo riesgo como para los de alto riesgo.
- Continuar con la aplicación de los lineamientos que establece la Administración del Cambio de PEMEX, elemento 13 del SIASPA, con el propósito de mantener actualizados los DTI's, DFP's de la planta, así como la aplicación el análisis HAZOP de cada modificación que se realice en la planta tanto de equipos, proceso y operaciones, para detectar todos los riesgos potenciales y no potenciales que puedan suscitarse con dicha modificación (documento normativo DG-GPASI-IT-04901).
- Mantener en automático todos los instrumentos y sistemas de seguridad que así estén configurados para evitar, que en el caso de que se suscite algún incidente, tengan que ser actuados en forma manual. Así mismo, se deben de incluir en el procedimiento para el manejo de cambios las condiciones bajo las cuales se realizará el cambio de modo automático a manual para identificar los riesgos asociados con este tipo de cambios así como para determinar las medidas adecuadas de prevención si se llegara a suscitarse un evento estando en modo manual alguno de los sistemas de control operacional o de seguridad.
- Continuar con la difusión de los planes de contingencias reforzándolo con ejercicios o simulacros de emergencia y evacuación de casos previstos e imprevistos para identificar y corregir las fallas en los planes de emergencias y desastres, verificar los tiempos de respuesta a emergencias, corroborar el correcto funcionamiento del sistema contra incendio de la planta, así como los simulacros operacionales, esto de acuerdo al GPASI 03000 y 02701.
- Cumplir en su totalidad con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos, equipos críticos, sistema de aspersores, líneas, válvulas, sistemas de tierras, sistema de mitigación y protecciones de toda la planta.
- Cumplir estrictamente el programa anual de inspección técnica, seguridad y contra incendio de la planta.
- Reparar las fugas que lleguen a presentarse lo más pronto posible, aun cuando sean pequeñas, y no esperar a que se origine una de mayor tamaño. No se recomienda instalar medidas de mitigación temporales como lo son los anillos de vapor.

Capitulo V



Conclusiones
generales



Facultad de Química





Capítulo V CONCLUSIONES GENERALES

Este trabajo forma parte del Análisis de Riesgos que se practicó en la Unidad de Destilación Atmosférica de la Refinería "Miguel Hidalgo". Dicho análisis servirá como un instrumento para lograr que la seguridad en la unidad sea mucho mejor. Por otra parte, servirá a la Refinería para seguir cumpliendo con la implementación del SIASPA, en especial a lo referente a los puntos No. 12 y 13 sobre Análisis de riesgos y administración del cambio.

Como conclusión final se puede decir que se cumplieron los objetivos planteados para este trabajo, ya que al aplicar el Análisis de Riesgos y operabilidad HazOp se identificaron los riesgos potenciales que podrían provocar algún accidente con consecuencias lamentables. También se cumplió con el objetivo de mejorar la seguridad de los trabajadores y de la población circunvecina al obtener mediante el análisis de riesgos un total de 7 recomendaciones las cuales eran de nivel B (riesgo indeseable). Para darle seguimiento a estas recomendaciones los ingenieros de la unidad de Destilación Atmosférica de la Refinería elaboraron un plan de trabajo de estas recomendaciones.

Por otra parte, al aplicar el Análisis de Árbol de Fallas se logró cuantificar la probabilidad de ocurrencia de una explosión por fuga de la bomba A-GA-8/8R/9/9R. De este análisis se obtuvieron una serie de recomendaciones que al ser implementadas reducirán la probabilidad de que tenga lugar dicho accidente.

Gracias al Análisis de Consecuencias y Efectos se logró cumplir con el tercer objetivo de este trabajo, ya que al escoger un escenario hipotético de un accidente, se evaluaron los efectos que provocaría a los empleados y a la población circundante si este accidente se llegara a presentar. Mediante el análisis de consecuencias se obtuvieron una serie de recomendaciones enfocadas a mejorar las acciones que se efectúan en la Refinería con el fin de mitigar los efectos de algún accidente.

Finalmente, el realizar este trabajo me sirvió para tener una definición más clara de las responsabilidades que un ingeniero químico tiene dentro de la industria, como es el tener como prioridad principal la seguridad y protección de sus trabajadores, de la comunidad y del medio ambiente. Gracias a este trabajo logre comprender que una de las tareas del ingeniero químico en la todas las industrias, no solo en la petrolera es el aplicar la cultura de Ganar-Ganar, es decir, se debe de lograr que la industria gane en el aspecto económico pero también se debe lograr que los trabajadores y comunidad en general ganen en el aspecto de seguridad y bien social.



En el esfuerzo para alcanzar el éxito, la administración de la seguridad industrial y la protección ambiental es un componente medular, ya que su aplicación efectiva produce valor económico, asegura la productividad del personal y los activos de PEMEX y consolida la armonía de las comunidades y los diversos segmentos de la sociedad relacionados con la empresa.

Apéndices

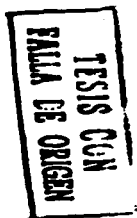


A: Principales accidentes ambientales en el mundo

B: Modelo de fugas continuas y derrames

C: DTI'S de la unidad atmosférica

D: Diagramas de análisis de consecuencias



Facultad de Química



APÉNDICE A
PRINCIPALES ACCIDENTES AMBIENTALES EN EL MUNDO¹

Tabla A1. Principales accidentes ambientales en el mundo

Fecha	Lugar	Actividad	Producto	Causa	Consecuencias
16 ABR 1947	Texas City, Estados Unidos	Transporte marítimo	Nitrato de amonio	Explosión	552 muertos 3.000 heridos
4 ENE 1966	Feyzin, Francia	Almacenamiento	Propano	BLEVE	18 muertos, 81 heridos Pérdidas de US\$ 68 millones
13 JUL 1973	Potchefstroom, África del Sur	Almacenamiento	Amoniaco	Fuga	18 muertos 65 intoxicados
1 JUN 1974	Flixborough, Reino Unido	Planta de Caprolactama	Ciclohexano	Explosión Incendio	28 muertos, 104 heridos Pérdidas de US\$ 412 millones
10 JUL 1976	Seveso, Italia	Procesamiento en planta	TCDD	Explosión	Contaminación de un área extensa debido a la emisión de dioxina
6 MAR 1978	Portsaill, Reino Unido	Transporte marítimo	Petróleo	Encalladura	230.000 ton Pérdidas de US\$ 85,2 millones
11 JUL 1978	San Carlos, España	Transporte en autotanque	Propano	VCE	216 muertos, 200 heridos
19 NOV 1984	Estado de México	Almacenamiento	GLP	BLEVE Incendio	650 muertos, 6400 heridos Pérdidas de US\$ 22,5 millones
3 DIC 1984	Bhopal, India	Almacenamiento	Isocianato de metilo	Emisión tóxica	4.000 muertos 200.000 intoxicados
28 ABR 1986	Chernobyl, Rusia	Fábrica nuclear	Uranio	Explosión	135.000 personas evacuadas
3 JUN 1989	Ufa, Rusia	Conducción por ducto	GLN	VCE	645 muertos 500 heridos
24 MAR 1989	Alaska, Estados Unidos	Transporte marítimo	Petróleo	Encalladura	40.000 ton 100.000 aves
11 MAR 1991	Catacoala	Procesamiento en planta	Cloro	Fuga Explosión	Pérdidas de US\$ 150 millones
22 ABR 1991	Guadalajara, México	Conducción por ducto	Gasolina	Explosión	300 muertos
15 FEB 1996	Mill Bay, Reino Unido	Transporte marítimo	Petróleo	Falla operacional	70.000 ton 2.300 aves muertas

GLN (gas licuado natural), GLP (gas licuado de petróleo), TCDD (tetrachlorodibenzo-p-dioxin).

1. Curso de Autoaprendizaje en Prevención, Preparación y Respuesta para desastres por Productos Químicos. Dr. Diego González Machón. OPS/OIMS: Programa de Preparativos para Casos de Desastres (PECD), División de Salud y Ambiente (HEP) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). Abril 2002. Sao Paulo, Brasil.



Apéndice B MODELO DE FUGAS CONTINUAS Y DERRAMES²

CONCEPTOS BÁSICOS.

Este modelo está basado en la ecuación de difusión *Gaussiana* de un gas o vapor. Su algoritmo ha sido diseñado para dar una estimación del área de riesgo o de "exclusión" generada por una fuga continua de un gas o de un vapor proveniente de un líquido que se evapora. Para aplicar este modelo es necesario establecer concentraciones de interés lo cual permite estimar las áreas de exclusión o áreas de evacuación en caso de accidente.

Las ecuaciones *Gaussianas* se emplean bajo el supuesto que las concentraciones máximas se presenten al nivel de piso i.e. $z = 0$ m, y que el gasto de emisión es constante durante el tiempo de modelación así como las características meteorológicas.

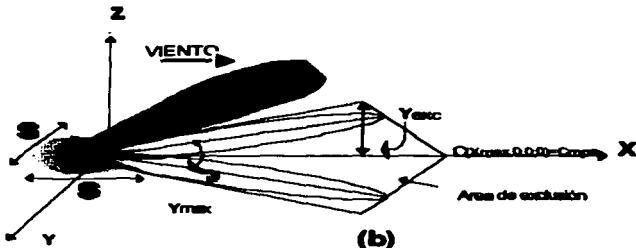


FIGURA B1. Esquema conceptual del modelo Gaussiano para Líquidos que se evaporan

La primera etapa del algoritmo de cálculo se refiere al establecimiento del gasto de emisión. En la ocurrencia de una fuga de un gas, el gasto emitido Q (g/s) estará determinado por las características del almacenamiento o línea donde se produzca.

En la ocurrencia de una ruptura de un tanque de almacenamiento el gasto podrá depender del tamaño de la ruptura y de la presión a la que se encuentre almacenado el gas.

2. Riesgo Industrial: Análisis, cálculos y representación de consecuencias. Francisco González Cubero, Luis Moneo Peco, J. A. Vilchez, Xavier Pérez-Aiavedra. Consejería de Tecnología, Industria y Comercio, Región de Murcia. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Marzo 2002. Zaragoza, España.

Para una fuga en una línea de conducción el gasto será función del diámetro de la misma y de la velocidad a la cual es transportado el gas. Para el caso de un derrame de un líquido que se evapora, el modelo tiene incorporado un procedimiento para estimar el gasto de vapor emitido.

Este procedimiento se basa en la siguiente ecuación:

$$Q_e = 0.001315 (P^{1.563} PM)^{0.60317}$$

Donde :

Q_e = Gasto de evaporación del líquido ($g^*s^{-1}m^{-2}$)

P = Presión de vapor del líquido (mm Hg)

PM = Peso molecular del líquido (g/gmol)

Como se puede observar en esta expresión se involucra las características del líquido y el gasto se calcula para un metro cuadrado. Correspondiendo el derrame a una fuente de área. La segunda etapa de cálculo corresponde a la determinación de la curva de isoconcentración para cada concentración de interés, empleando las ecuaciones presentadas más adelante. Como el derrame ocurre a nivel del piso; $H_e = 0$ m.

MODELO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS PROVOCADOS POR NUBES EXPLOSIVAS

El modelo de evaluación de daños provocados por la explosión de una nube de gas o vapor inflamable involucra el cálculo para determinar un potencial explosivo aproximado de sustancias empleadas en la industria. Dentro de las sustancias que se contemplan en el modelo como factibles de formar nubes explosivas se tienen:

- Gases contenidos a una presión de 500 psi ó más, para el caso de gases mantenidos a menor presión se debe considerar su factor de compresibilidad, al estimar la cantidad que forma la nube explosiva.
- Gases mantenidos en estado líquido por efecto de alta presión o baja temperatura.
- Líquidos combustibles o inflamables mantenidos a una temperatura superior a la de su punto de ebullición y que se encuentran en estado líquido por efecto de presión (se excluyen las sustancias cuya viscosidad sea mayor a 1×10^6 centipoises o que posean puntos de fusión mayores a $100^\circ C$).

Existen una serie de suposiciones inherentes al modelo que le permiten efectuar las estimaciones y predicciones de daños provocados por la explosión de la nube, destacando las siguientes:

- La fuga del material (almacenado o en proceso) es instantánea, excluyéndose escapes paulatinos de gas a menos que se trate de fugas en tuberías de gran capacidad.

- El material fugado se vaporiza en forma instantánea formándose inmediatamente la nube; la vaporización y formación de la nube se efectúa de acuerdo con las propiedades termodinámicas del gas o líquido antes de producirse la fuga.
- Se asume una nube de forma cilíndrica cuya altura corresponde a su eje vertical. Se supone que la nube cilíndrica no es distorsionada por el viento ni por estructuras o edificios cercanos.
- La composición de la nube es uniforme y su concentración corresponde a la media aritmética de los límites superior e inferior de explosividad del material.
- El calor de combustión del material se transforma a un equivalente en peso de trinitrotolueno (TNT) (calor de combustión del TNT = 1830 Btu /lb).
- La temperatura del aire ambiente se considera constante e igual a 21.1° C (70° F).

Para determinar la magnitud de la fuga de material explosivo en una planta, se pueden considerar dos criterios o tipos de daños probables:

- a) El Daño Máximo Probable (DMP) y
- b) El Daño Máximo Catastrófico (DMC).

La magnitud de la fuga bajo un escenario de DMP se estima considerando:

- El tamaño de la fuga estará determinado por el contenido del mayor recipiente de proceso ó conjunto de recipientes del proceso conectados entre sí, sin estar aislados uno del otro por válvulas automáticas o a control remoto. Si existen estas válvulas se considerará el contenido del mayor recipiente.
- No se considerará como limitante de la formación de una nube, la existencia de fuentes de ignición en las cercanías de una posible fuga.

Bajo un escenario de DMC, la magnitud de la fuga se estima considerando:

- El tamaño de la fuga estará determinado por el contenido del mayor recipiente del proceso o conjunto de recipientes del proceso conectados entre sí. No se tendrá en cuenta la existencia de válvulas automáticas.
- Se considerará la destrucción o daños graves de tanques de almacenamientos mayores, como formadores de nubes explosivas catastróficas.
- Se considerarán las fugas en tuberías de gran capacidad que sean alimentadas desde instalaciones remotas, exteriores o interiores, asumiendo que la tubería será dañada seriamente y que la duración de la fuga es de media hora.
- No se considerará como limitante de la formación de una nube, la existencia de fuentes cercanas de ignición.
- Se incluirán los gases y líquidos empleados como combustibles.



Una vez que se produce la explosión, se generan una serie de ondas expansivas circulares, de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube y las de menor presión se sitúan en circunferencias de diámetro mayores. El objetivo del modelo es entonces determinar la magnitud de los diámetros asociados a la sobrepresión de las ondas y los daños producidos en instalaciones.

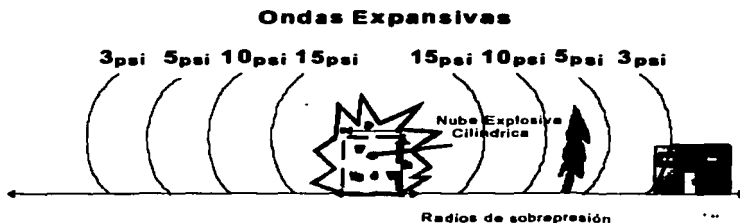


FIGURA B2. Esquema Conceptual del modelo de Nubes Explosivas.

MODELO MATEMÁTICO

La figura E2 muestra esquemáticamente la conceptualización del escenario del modelo. La metodología de funcionamiento del modelo involucra varios pasos que son:

- Cálculo del peso de material en el sistema.
- Cálculo del peso de material en la nube.
- Cálculo del diámetro de la nube formada.
- Cálculo de la energía desprendida por la explosión.
- Determinación del diámetro de las ondas expansivas.
- Determinación de los daños ocasionados.

A) Cálculo del Peso de Material en el Sistema (W_g ó W_l)

Si el material en el proceso se encuentra en estado líquido, el peso de material se calcula con su volumen y densidad:

$$W_l = 8.34 R_v V$$



Donde:

Wl = Peso del líquido en el proceso (lb).

Ro = Densidad del líquido en el proceso (g/ml) a temperatura del proceso (Tp).

Vi = Volumen del líquido en el proceso (gal).

El valor constante 8.34 es el factor de conversión (lb/g) x (ml/gal).

B) Cálculo del Peso de Material en la Nube (W)

El peso de material en la nube se estima de acuerdo a las características del material en el proceso :

Si el líquido posee un punto de ebullición superior a 21.1° C, la cantidad vaporizada se calcula con:

$$W = Wl \left[\frac{Cp (Tp - Teb)}{Hv} \right]$$

Donde:

Tp = Temperatura del líquido en el proceso (° C).

Teb = Temperatura de ebullición del líquido (° C).

Cp = Media geométrica de los calores específicos del líquido (cal/g.° C) a diferentes temperaturas entre Teb y Tp.

Hv = Calor de vaporización del líquido (cal/g) a la temperatura de ebullición Teb.

El valor del cociente Cp (Tp-Teb) / Hv representa la fracción del líquido que se vaporiza.

C) Cálculo del Diámetro de la Nube Formada (D)

La metodología empleada se aplica únicamente para nubes de gases ó vapores que sean más pesados que el aire. Como se mencionó anteriormente se asume que la nube es de forma cilíndrica, cuyo diámetro se calcula con la siguiente expresión:

$$D = 22.181 (W/hMF)^{1/3}$$

Donde:

D = Diámetro de la nube formada (ft).

h = Altura de la nube formada (ft).

M = Peso molecular del material.

En esta ecuación se considera que la mezcla aire-gas (vapor) se encuentra a 21.1° C y 1 atmósfera de presión. El parámetro F corresponde a la fracción de la nube representada por gas ó vapor, si la nube en su totalidad se encuentra a una concentración explosiva media. F se determina con:



$$F = (LIE + LSE) / (2 (100))$$

Donde:

LIE = Límite inferior de explosividad del material (%).

LSE = Límite superior de explosividad del material (%).

Generalmente las nubes explosivas alcanzan alturas de hasta 10 ft y se recomienda utilizar este valor para h.

Si el gas es ligero hay que tener precaución al emplear alturas superiores a 10 ft ya que el diámetro de la nube se ve disminuido y por consiguiente se puede subestimar el potencial destructivo de la nube.

D) Cálculo de la Energía desprendida por la Explosión (Ed)

Se asume que la energía desprendida por la explosión de la nube se expresa por su equivalente en toneladas de TNT.

La ecuación representativa es:

$$E_d = W \quad H_c \quad E / 4.03 \times 10^4$$

Donde:

Ed = Energía generada expresada en peso de TNT, que produce una fuerza equivalente a la explosividad de la nube (Ton TNT).

Hc = Calor de combustión del material (Btu/lb).

4.03×10^6 = Calor de combustión del TNT (Btu/ton).

E = Factor de explosividad.

El factor E es adimensional y determina la fracción del calor de combustión que sirve para producir las ondas de sobrepresión.

Para muchos materiales el valor de E se encuentra dentro del rango 0.01 a 0.1. Para las nubes explosivas aquí consideradas se emplean los valores:

E = 0.02 cuando el escenario se considera de DMP.

E = 0.10 cuando el escenario se considera de DMC.

Los criterios de DMP y DMC en este caso se relacionan únicamente con la eficiencia de la explosión, siendo independientes de los criterios mencionados anteriormente los cuales están relacionados con la estimación de la magnitud de la fuga de material. Para varias sustancias se muestra un factor más aproximado y se recomienda utilizar este para el cálculo de la energía desprendida por la explosión.



E) Determinación del Diámetro de las Ondas Expansivas (Doe)

Las ondas expansivas (o de sobrepresión) consideradas se expresan en unidades de presión y van desde 0.5 psi hasta 30 psi. Como se mencionó, las de mayor presión se encuentran en circunferencias cercanas al centro de la nube explosiva, mientras que las de presiones más pequeñas se situarán en circunferencias alejadas.

La determinación de los diámetros de los círculos de sobrepresión se efectúa a través de funciones del tipo:

$$Doe = Z (Ed)^{1/3}$$

Donde:

Doe = Diámetro de la onda expansiva (ft).

Ed = Energía desprendida por la explosión (ton TNT).

Z = Distancia escalada para la sobrepresión considerada (ft/ton^{1/3}).

Los valores de Z para varios rangos de sobrepresión, empleados en el modelo son los siguientes (Tabla E1):

Sobrepresión (psi)	Z (ft/ton ^{1/3})
0.5	1291
1.0	800
2.0	485
3.0	400
5.0	292
7.0	240
10.0	200
20.0	161
30.0	120

F) Determinación de los Daños Ocasionados

A fin de determinar los daños ocasionados por la nube explosiva se emplea la información de las tablas E3 y E4, las cuales muestran los efectos de diversos valores de sobrepresión sobre instalaciones y equipos en refinertas y plantas químicas. A estos daños se deben adicionar posibles incendios y explosiones subsecuentes. Para propósitos de espaciamiento en plantas, se recomienda que:

- Una nube explosiva generada en una área no debe cubrir ninguna parte de los edificios o procesos importantes de un área vecina.
- Todos los edificios y equipos importantes de un área deben situarse fuera del círculo correspondiente a una sobrepresión de 0.3 psi que sea generada por la explosión de una nube en un área vecina.

- Los edificios y equipos importantes que puedan ser alcanzados por ondas con valores entre 1 y 3 psi de sobrepresión, deben ser diseñados para resistir una sobrepresión de 2 psi, asumiendo un escenario de DMP ($F = 0.02$).
- Sólo las áreas alcanzadas por ondas de sobrepresión de 1 psi o menores pueden ser consideradas como separadas de la zona de riesgo.

El SCRI es un conjunto de modelos, para simular en computadora; emisiones de contaminantes, fugas y derrames de productos tóxicos y daños por nubes explosivas, para estimar escenarios de afectación de emisiones continuas o instantáneas, bajo diversas condiciones meteorológicas, para estudios de riesgo e impacto ambiental, diseño de plantas e instalaciones industriales y apoyar en la capacitación y entrenamiento de personal, en el manejo de situaciones de emergencia.

Tabla B1. Efectos de nubes explosivas en Refinerías a diferentes valores de sobrepresión³

Sobrepresión	Efectos en Refinerías
0.3	Edificio de mantenimiento: caída de techos de asbesto corrugado. Toma de enriamiento de agua: caídas de lumbreras de asbesto corrugado.
0.5	Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): rotura de ventanas.
1.0	Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): deformación de estructura. Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): derrumbe de techo.
1.5	Horno de tubos fijos: ligero desplazamiento de su posición horizontal. Tanques de almacenamiento: levantamiento de tanques vacíos.
3.0	Edificio de mantenimiento: deformación de estructura. Cuarto de control: derrumbe de muros de concreto.
3.5	Torre de enriamiento de agua: derrumbe de la torre. Tuberías (soportadas por estructuras de acero): deformación de la estructura. Tuberías (soportadas por estructuras de concreto): fracturas en la estructura.
4.0	Tanques de almacenamiento: levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad.
4.5	Tanques de almacenamiento: levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad. Torre fraccionadora (montada sobre pedestal de concreto): aflojamiento de tuercas de anclaje.
5.0	Torre de regeneración: deformación de la columna. Edificio de mantenimiento: derrumbe de muros de bloque.
5.5	Tuberías: derrumbe de la estructura y rompimiento de líneas. Torre rectangular (estructura de concreto): fractura de la estructura de concreto.
6.0	Unidad de recuperación de vapor: derrumbe de la estructura. Horno de tubos fijos: caída de chimenea.
6.5	Horno de tubos fijos: derrumbe del horno. Torre rectangular: derrumbe de la estructura y la torre. Torre de vacío octagonal: fractura de la estructura.
7.0	Torre fraccionadora: caída de la torre. Torre de regeneración: caída de la torre.
7.5	Tanque de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques llenos. Torre de vacío octagonal: ruptura de anclaje de la torre y caída de la misma. Tanque de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques vacíos.
8.0	Reactor rectangular de cracking catalítico (estructura de concreto): fractura de la estructura.
8.5	Torre de regeneración (estructura de concreto): fractura de la estructura.
9.0	Tanque de almacenamiento esférico: derrumbe de tanques llenos.
9.5	Desisobutanizador (montado sobre pedestal y zapatas): caída de reactor. Tanque de almacenamiento esférico: derrumbe de tanques vacíos.
10.0	Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): derrumbe de estructura de hierro.
12.0	Reactor rectangular de cracking catalítico: derrumbe de la estructura y la torre.
16.0	Torre de regeneración: derrumbe de la estructura y la torre.

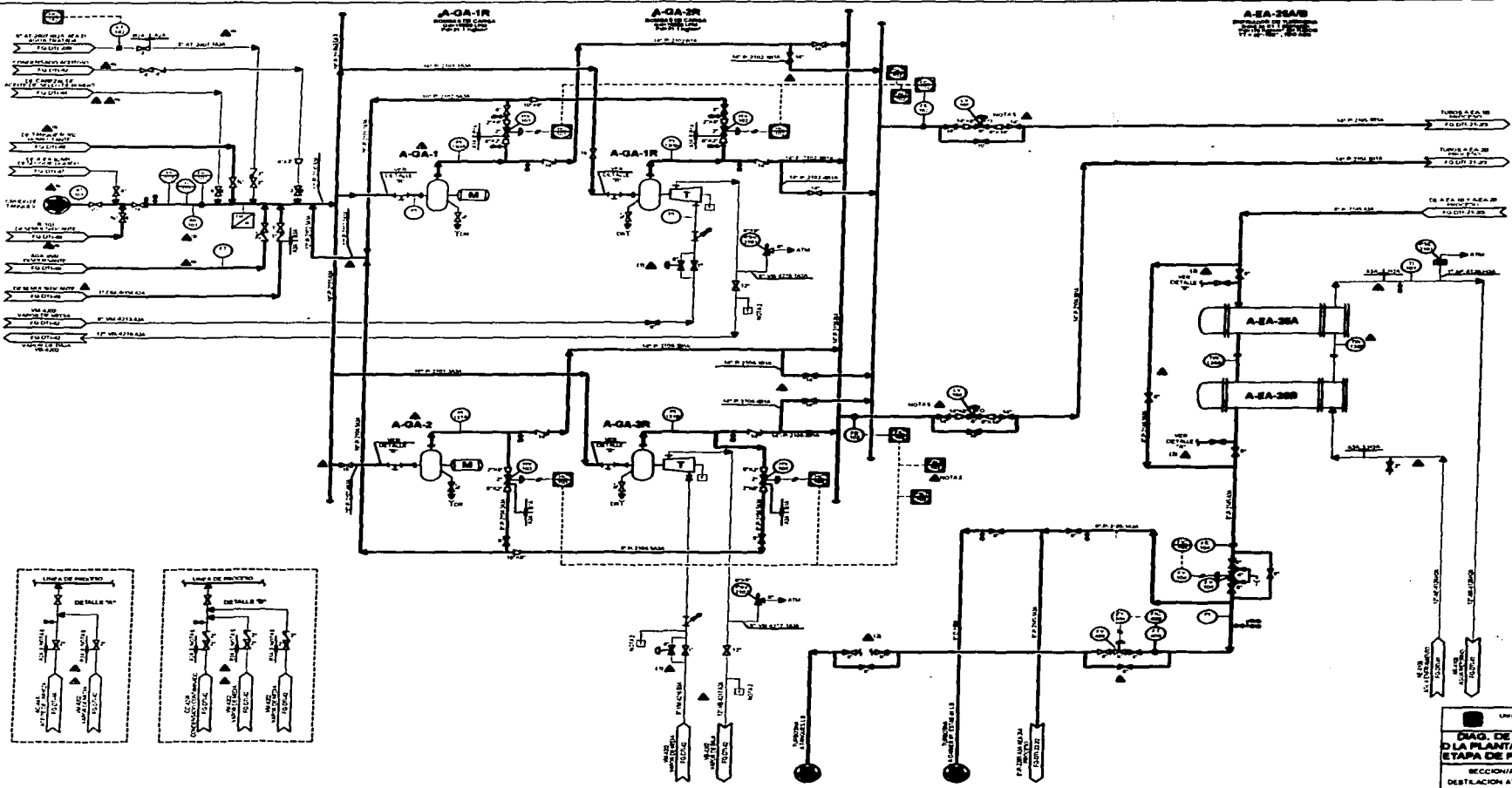
3. Cubero, *ibidem*.

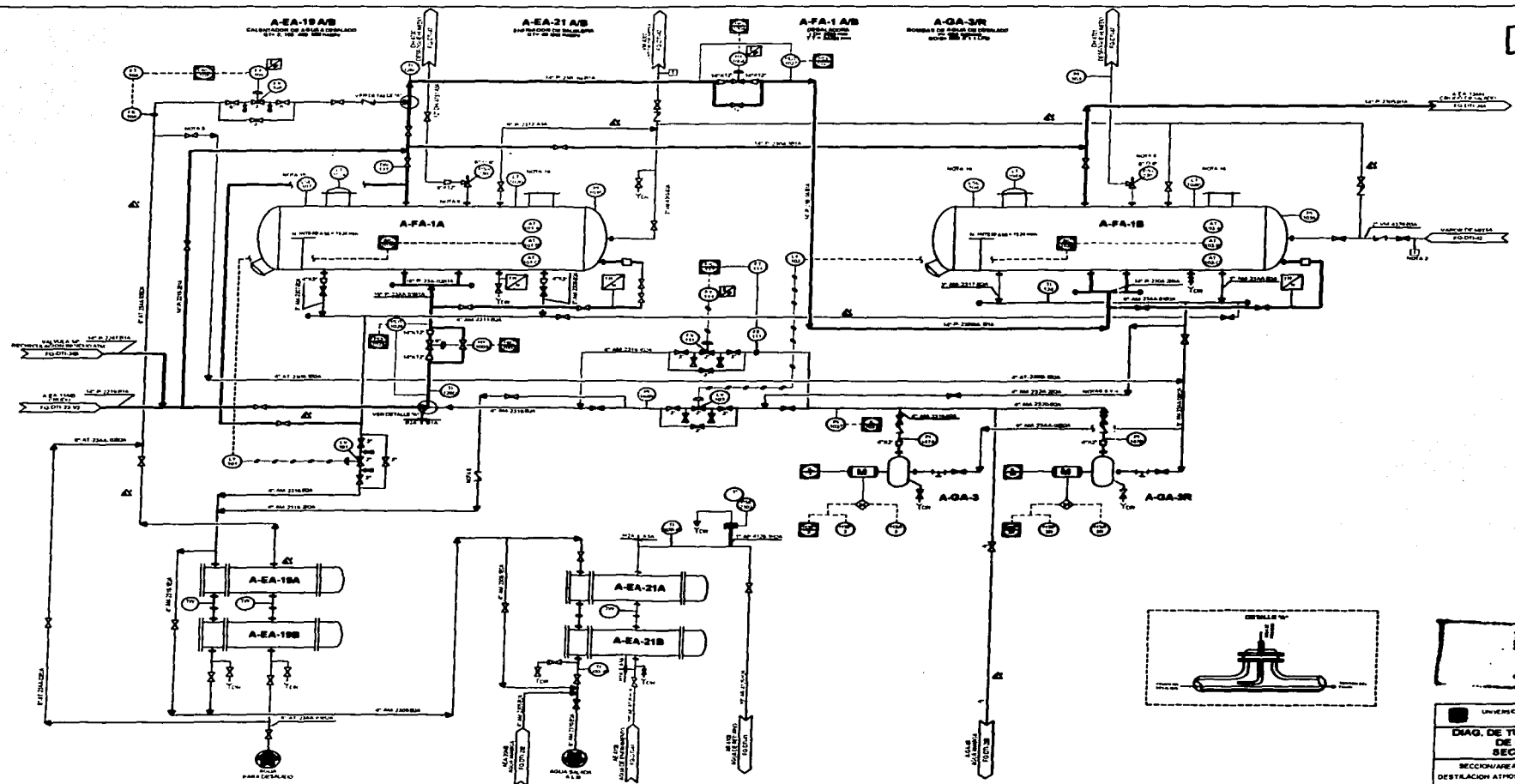


Tabla B2. Efectos de nubes explosivas en Plantas a diferentes valores de sobrepresión

Sobrepresión	Efectos en Plantas (psi)
0.3	Torre de enfriamiento: falla de mamparas.
0.5	Cuarto de control (techo de concreto): rotura de ventanas y medidores. Torre de enfriamiento: falla de mamparas.
1.0	Tanques de almacenamiento (techo cónico): colapso del techo. Cuarto de control (techo de concreto): colapso del techo.
1.5	Torre de enfriamiento: partes internas dañadas. Cubículo de instrumentos: rotura de ventanas y medidores. Calentador: fracturas de ladrillos.
2.0	Reactor químico: rotura de ventanas y medidores. Filtros: falla de paredes de concreto.
2.5	Calentador: el equipo se mueve y la tubería se rompe. Tanque de almacenamiento (techo cónico): el equipo se levanta (50% llenado).
3.0	Cubículo de instrumentos: líneas de fuerza dañadas, controles dañados. Regenerador: el equipo se mueve y las tuberías se rompen. Cuarto de control (techo concreto): falla de paredes de concreto. Torre de enfriamiento: falla de paredes de concreto.
3.5	Reactor catalítico: el equipo se mueve y la tubería se rompe. Soportes de tuberías: marcos deformados.
4.0	Reactor químico: partes internas dañadas. Filtro: partes internas dañadas.
4.5	Medidor de gas: carcasa y caja deformadas. Transformador eléctrico: daño por proyección de partículas. Calentador: unidad destruida.
5.0	Regenerador: marcos colapsados. Motor eléctrico: daño por proyección de partículas. Ventilador: carcasa y caja dañadas.
5.5	Soportes de tuberías: marcos colapsados, tubería rota. Columna fraccionadora: marcos rotos. Cubículo de instrumentos: unidad destruida.
6.0	Recipiente horizontal a presión: marcos deformados, el equipo se mueve y la tubería se rompe. Regulador de gas: el equipo se mueve y la tubería se rompe. Tanques de almacenamiento (techo cónico): equipo levantado (90% llenado).
6.5	Reactor químico: marcos colapsados. Columna de equipo se mueve y la tubería se rompe. Reactor catalítico: partes internas dañadas. Columna fraccionadora: unidad destruida.
7.0	Regenerador: unidad destruida. Transformador eléctrico: líneas de fuerza dañadas. Turbina de vapor: el equipo se mueve y la tubería se rompe. Cambiador de calor: el equipo se mueve y la tubería se rompe.
8.0	Tanque de almacenamiento (estático): el equipo se mueve y la tubería se rompe. Reactor químico: unidad destruida. Motor eléctrico: líneas de fuerza dañadas.
9.0	Recipiente horizontal a presión: unidad destruida. Filtro: la unidad se mueve de sus cimientos. Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida. Transformador eléctrico: unidad destruida.
9.5	Ventilador: unidad destruida. Regulador de gas: controles dañados, carcasa y cajas dañadas. Columna de extracción: la unidad se mueve de sus cimientos. Filtro: unidad destruida.
10.0	Reactor catalítico: unidad destruida. Turbina de vapor: controles dañados.
12.0	Recipiente vertical a presión: el equipo se mueve y la tubería se rompe. Bomba: líneas de fuerza dañadas. Turbina de vapor: tubería rota.
14.0	Tanque de almacenamiento (estático): falla de abrazaderas y soportes. Recipiente vertical a presión: unidad destruida.
15.0	Tanque de almacenamiento (estático): unidad destruida. Bomba: la unidad se mueve en sus cimientos.
20.0	Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo. Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos.
> 20.0	Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.

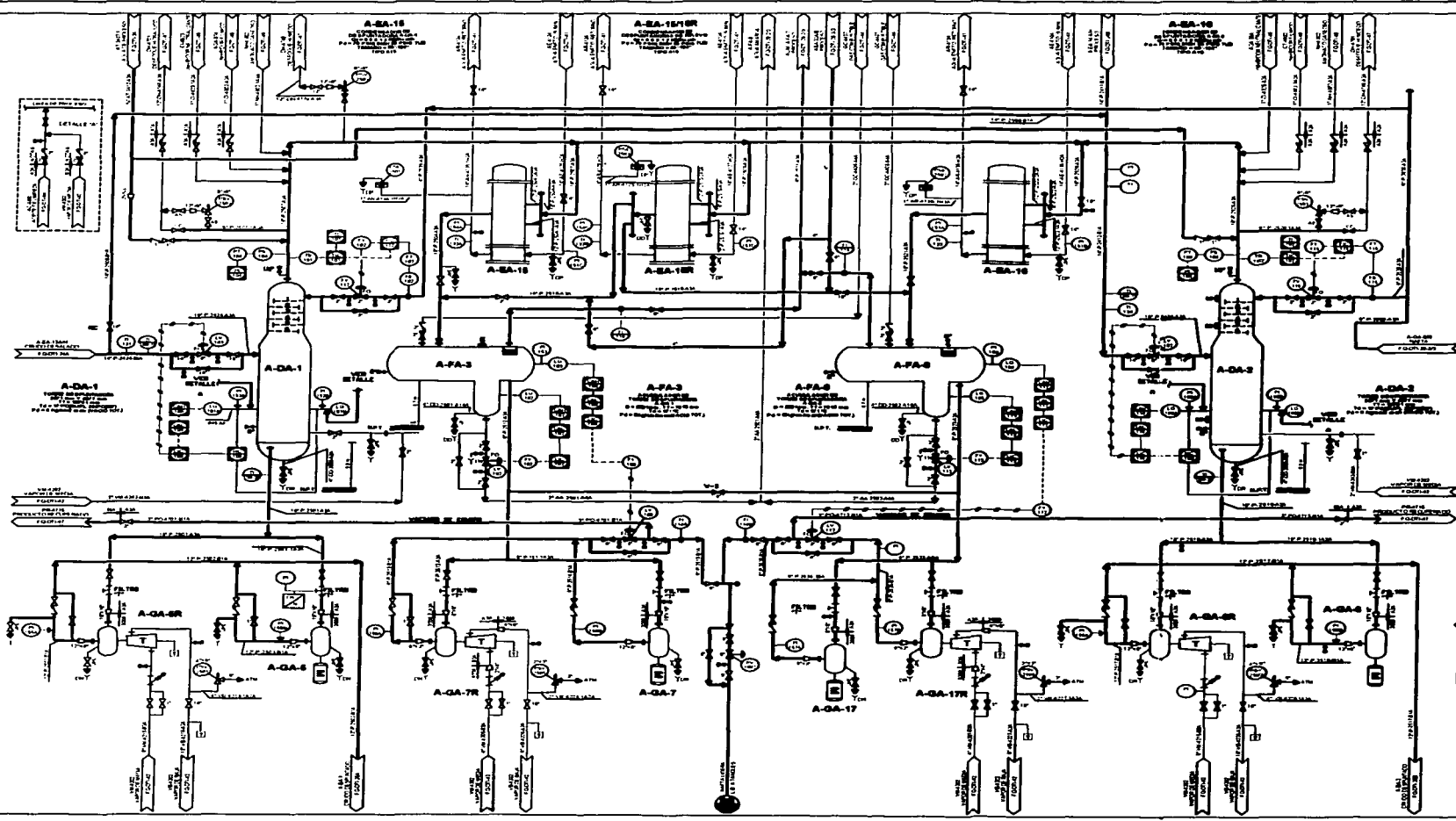
APENDICE C





**ESIS CON
A DE ORIGEN**

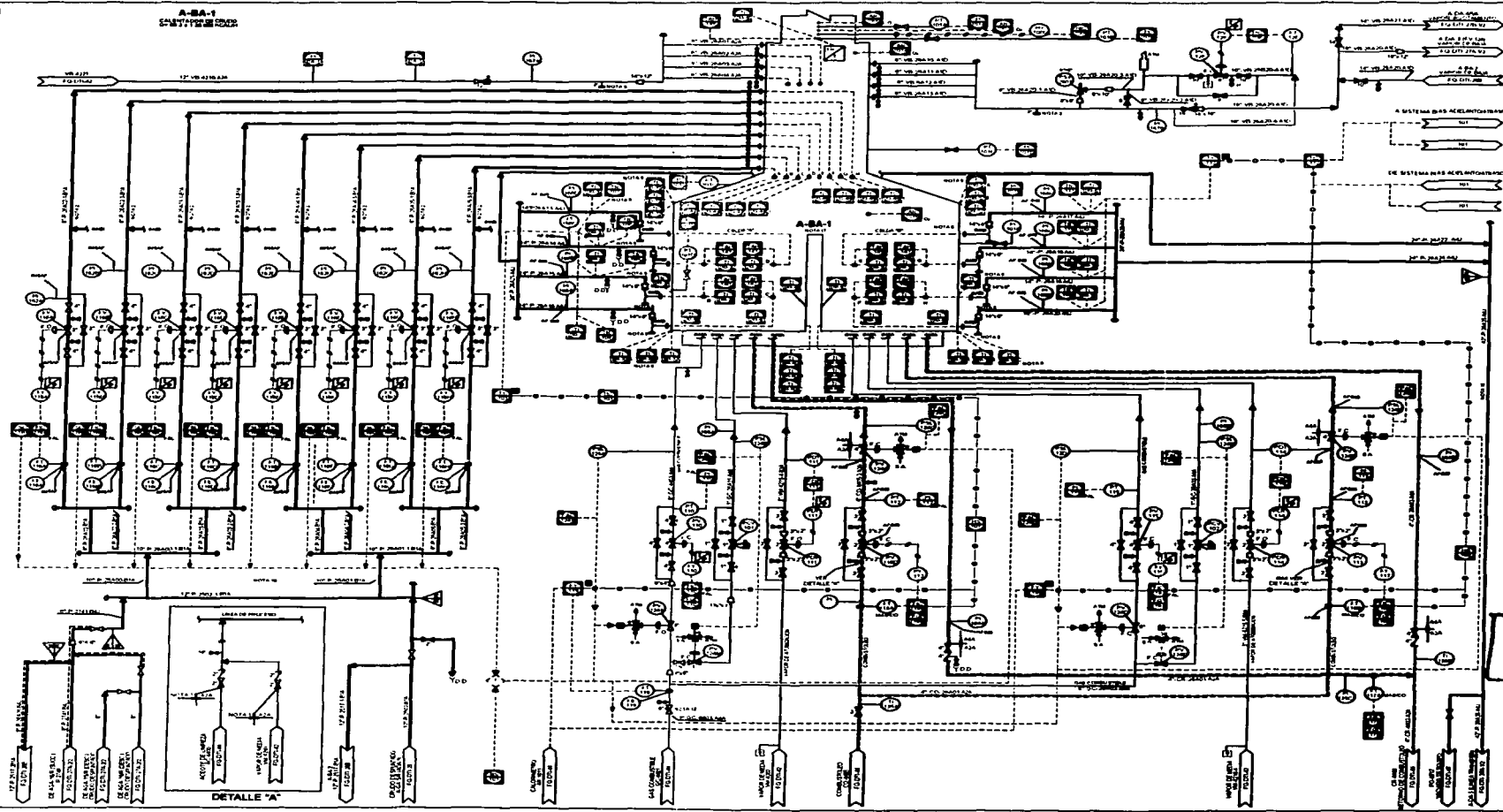
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAG. DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN DE LA PLANTA PRIMARIA SECCIÓN 1 DE DESALADO	
SECCIÓN/ÁREA DESTILACIÓN ATMOSFÉRICA	DIAGRAMA: FQ-DT1-23A
	Página 151



PROCESO CON
FALSA DE ORIGEN

A-BA-1
SINTETIZADOR

APENDICE C



UNION CON
PALA DE ORIGEN

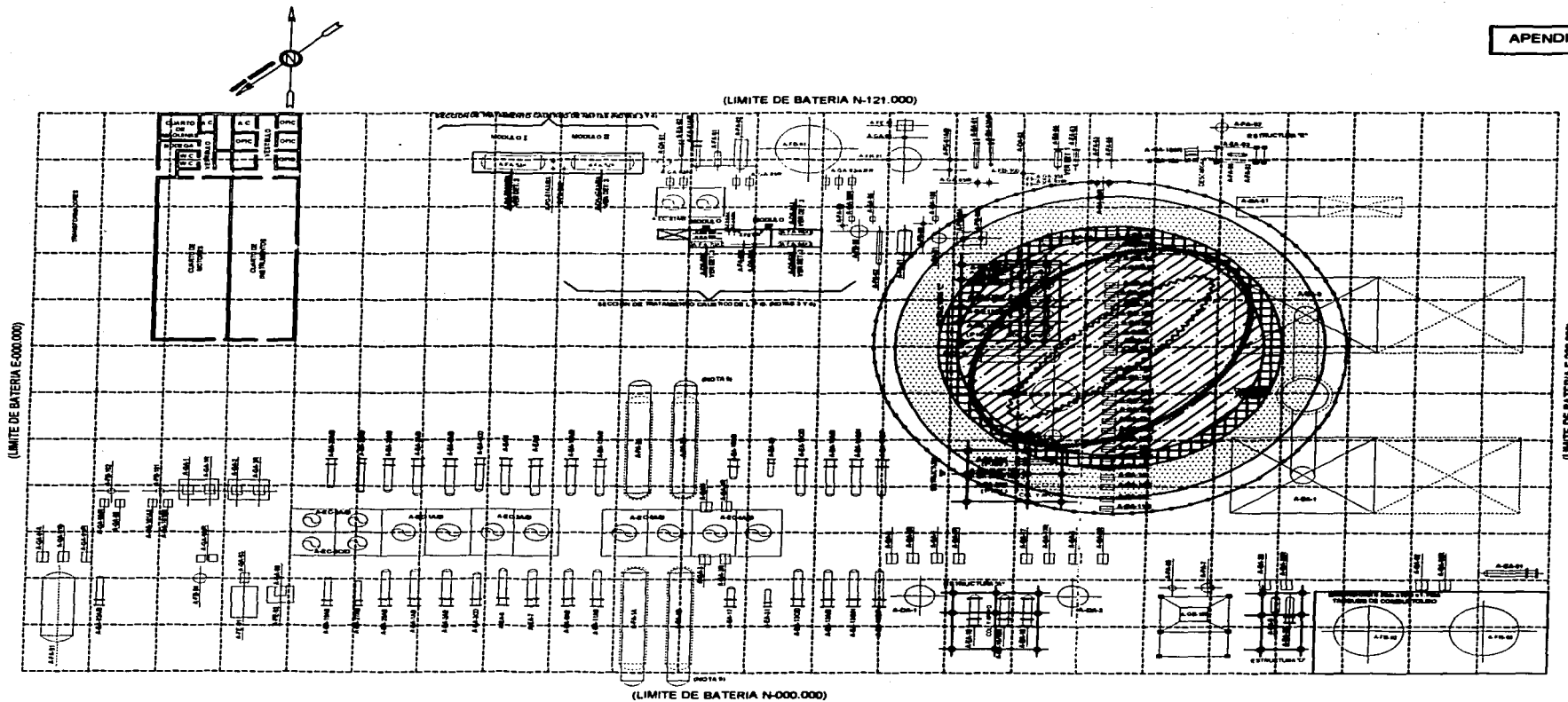
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

**DIAG. DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN
DE LA PLANTA PRIMARIA
CALENTADOR DE CARGA A-BA-1 A-DA-3**

SECCION/AREA: DESTILACION ATMOSFERICA

DIAGRAMA: FQ-DT-26A

153



EVEN TO	ZONA DE AFECTACION	DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	AREA DE AFECTACION	AFECTACION CON VIENTO DOMINANTE (LONGITUDINARIO)
JET FIRE (CAT. 1.5F)	ZONA DE SEGURIDAD	64.76 m	1.00 MW/m ²	4880 m ²	(28.16/28.16) m
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	81.50 m	5.00 MW/m ²	1213 m ²	(34.88/17.89) m en diagonal
	ZONA DE ALTO RIESGO	40.36 m	12.00 MW/m ²	261.2 m ²	(20.88/9.439) m

NO SE PUEDE VER

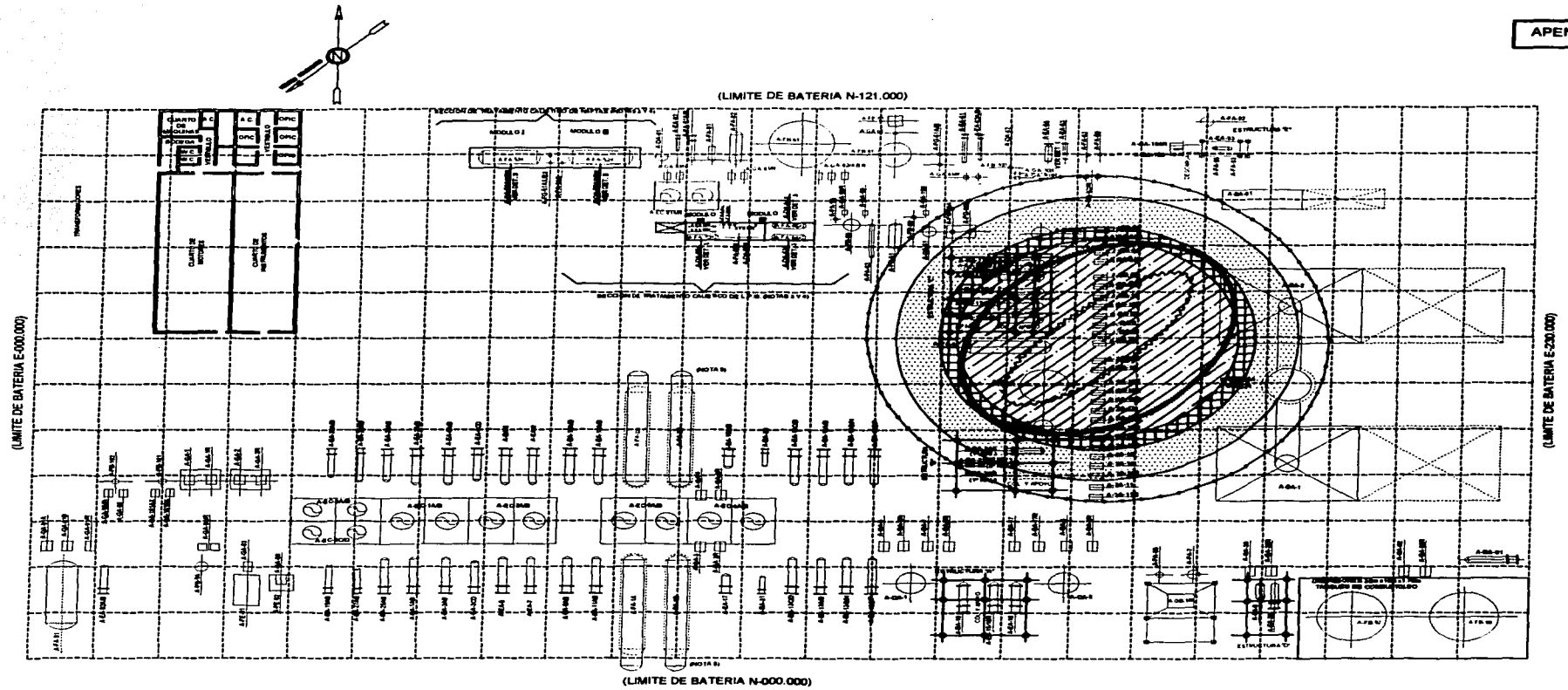
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**ANALISIS DE CONSECUENCIAS
FUGA DE LAS BOMBAS A-GA-08/05/R**
DE LA PLANTA PRIMARIA

SECCIONARIA: **DIAGRAMA: FQ-AC-01**

DETERMINACION ATROPERICA

154



(LIMITE DE BATERIA E-000.000)

(LIMITE DE BATERIA E-200.000)

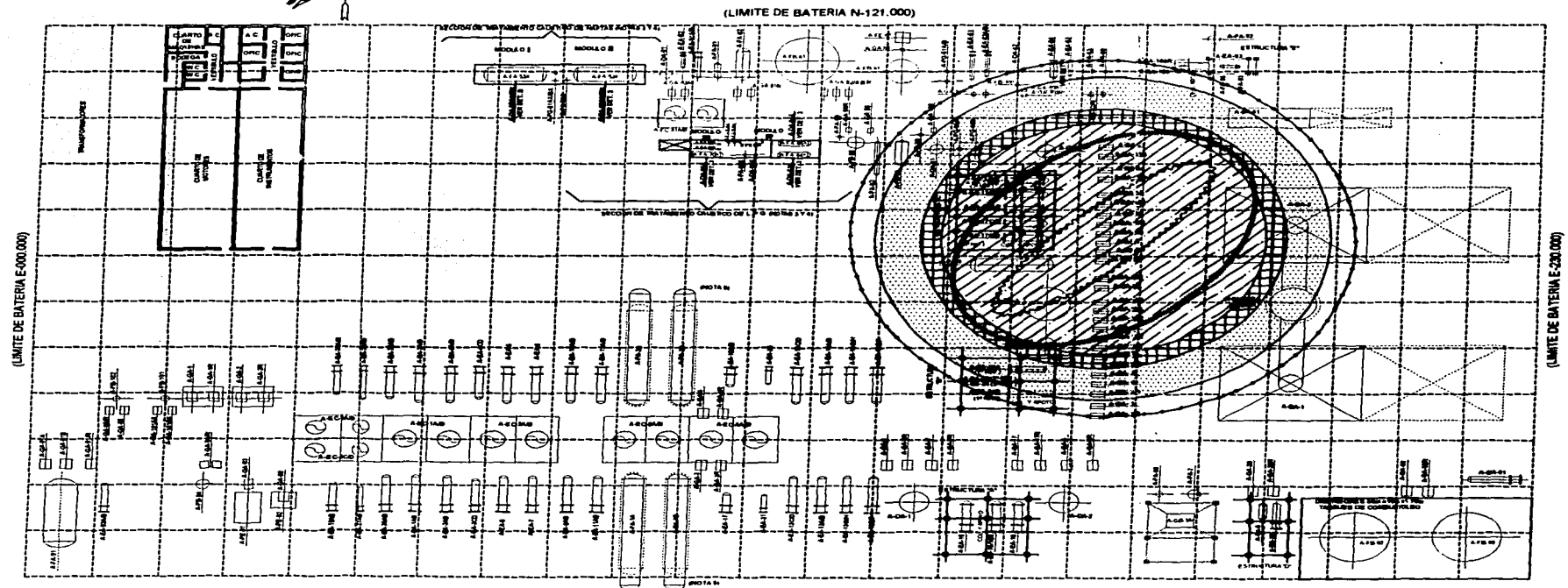
(LIMITE DE BATERIA N-000.000)

EVENTO	ZONA	DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	AREA DE AFECTACION	AFECTACION CON VIENTO DOMINANTE (LONGITUDINARIO)
JET FIRE (CAT. 2/2E)	ZONA DE SEGURIDAD	81.87 m	1.40 MB/m ²	2973 m ²	(18.81/730.30) m
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	48.89 m	9.80 MB/m ²	1273 m ²	(23.73/17.82) m
	ZONA DE ALTO RIESGO	43.89 m	12.80 MB/m ²	288.9 m ²	(18.37/8.87) m



TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE QUÍMICA
ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS
FUGA DE LAS BOMBAS A-GA-SERVVIDOR
DE LA PLANTA PRIMARIA
 RECONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA
 DISTRIBUCIÓN ATÓMICA
 DIAGRAMA: FQ-AC-02
 PAJ 155



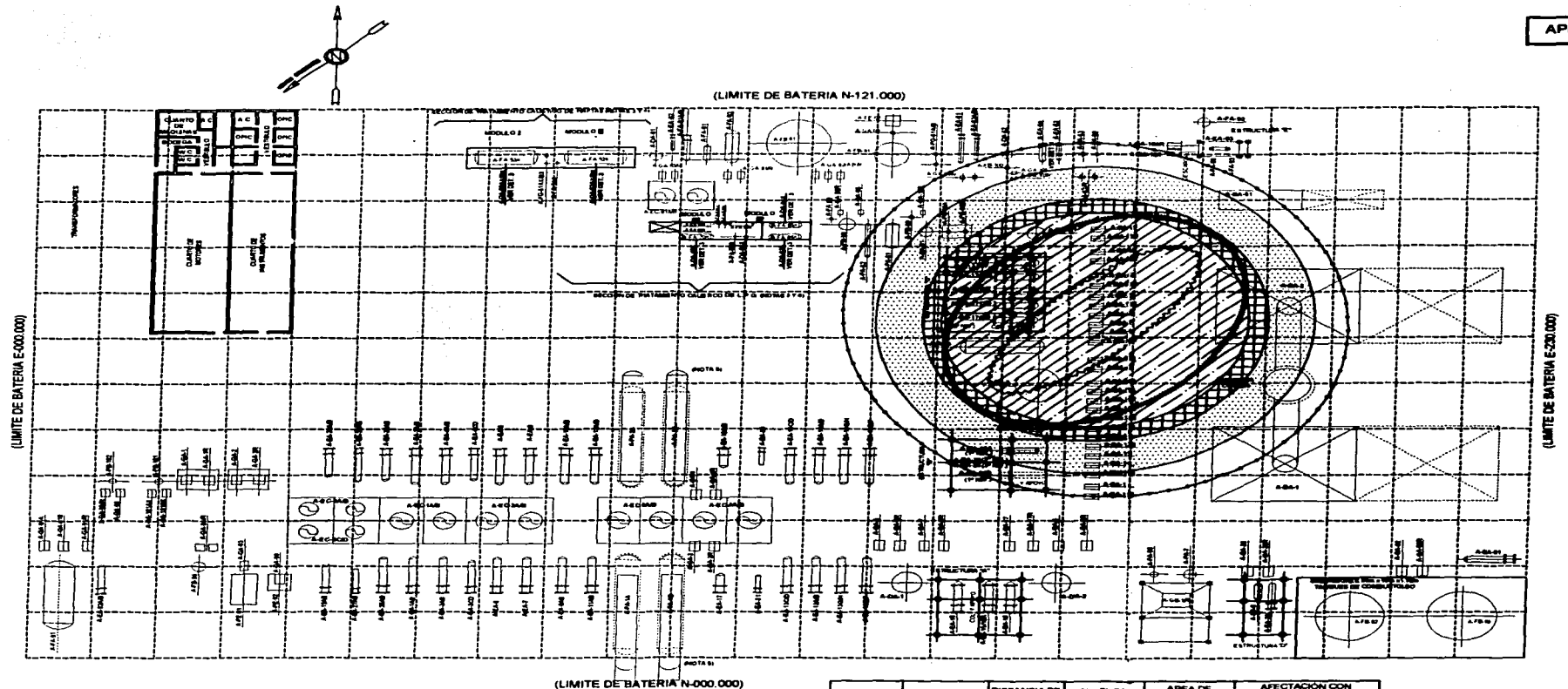
EVEN TO	ZONA	DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	AREA DE AFECTACION	AFECTACION CON VIENTO DOMINANTE (CONJUTUANCIA)
JET FIRE (CAT. 1.5F)	ZONA DE SEGURIDAD	70.14 m	1.00 MB/MS	4880 m ²	(27.00/10.00) m
	ZONA DE ABLORTEAMIENTO	88.30 m	0.50 MB/MS	1073 m ²	(20.00/10.00) m
	ZONA DE ALTO RIESGO	98.33 m	0.20 MB/MS	430.00 m ²	(22.00/10.00) m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

**ANALISIS DE CONSECUENCIAS
FLUJO DE LAS BOMBAS A-GA-88/8/88
DE LA PLANTA PRIMARIA**

SECCION/AREA: DESTILACION ATOMICA
DIAGRAMA: FQ-AC-03
Página: 126

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



EVENTO	ZONA	DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	AREA DE AFECTACION	AFECTACION CON VIENTO DOMINANTE (LONGITUDINAL)
JET FIRE (CAT. 2.2/E)	ZONA DE SEGURIDAD	65.00 m	1.60 mSv/h	4275 m ²	27.20/29.20 m
	ZONA DE AMONESTAMIENTO	92.53 m	0.60 mSv/h	1170 m ²	29.27/19.33 m
	ZONA DE RIESGO	65.70 m	12.00 mSv/h	405.0 m ²	21.30/9.40 m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

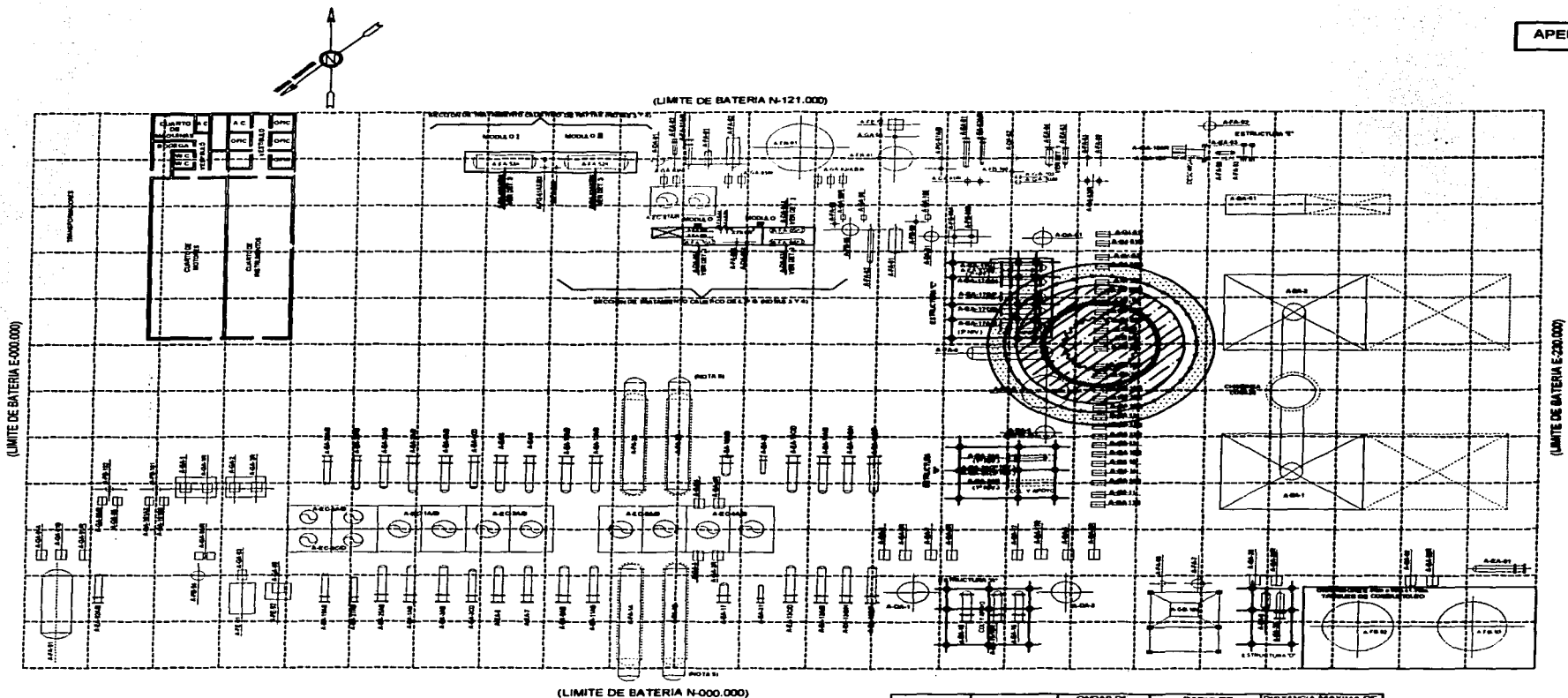
**ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS
FUGA DE LAS BOMBAS A-GA-SERVIVER
DE LA PLANTA PRIMARIA**

SECCION/AREA: DESTILACION ATMOSFERICA

DIAGRAMA: FQ-AC-04

157

**TRIS CON
FALLA DE ORIGEN**



EVENTO	ZONA	ONDAS DE SOBREPRESIÓN	RADIO DE AFECTACIÓN	DISTANCIA MÁXIMA DE AFECTACIÓN (LÍMITE)
EXPLOSIÓN CON FONICIÓN TÁRCA (CAT. 1.5F)	ZONA DE SALVAMARCA	0.5 PB	16.70 m	34.70 m
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	1 PB	0.200 m	25.00 m
	ZONA DE RESCUDO	2 PB	0.200 m	25.00 m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA

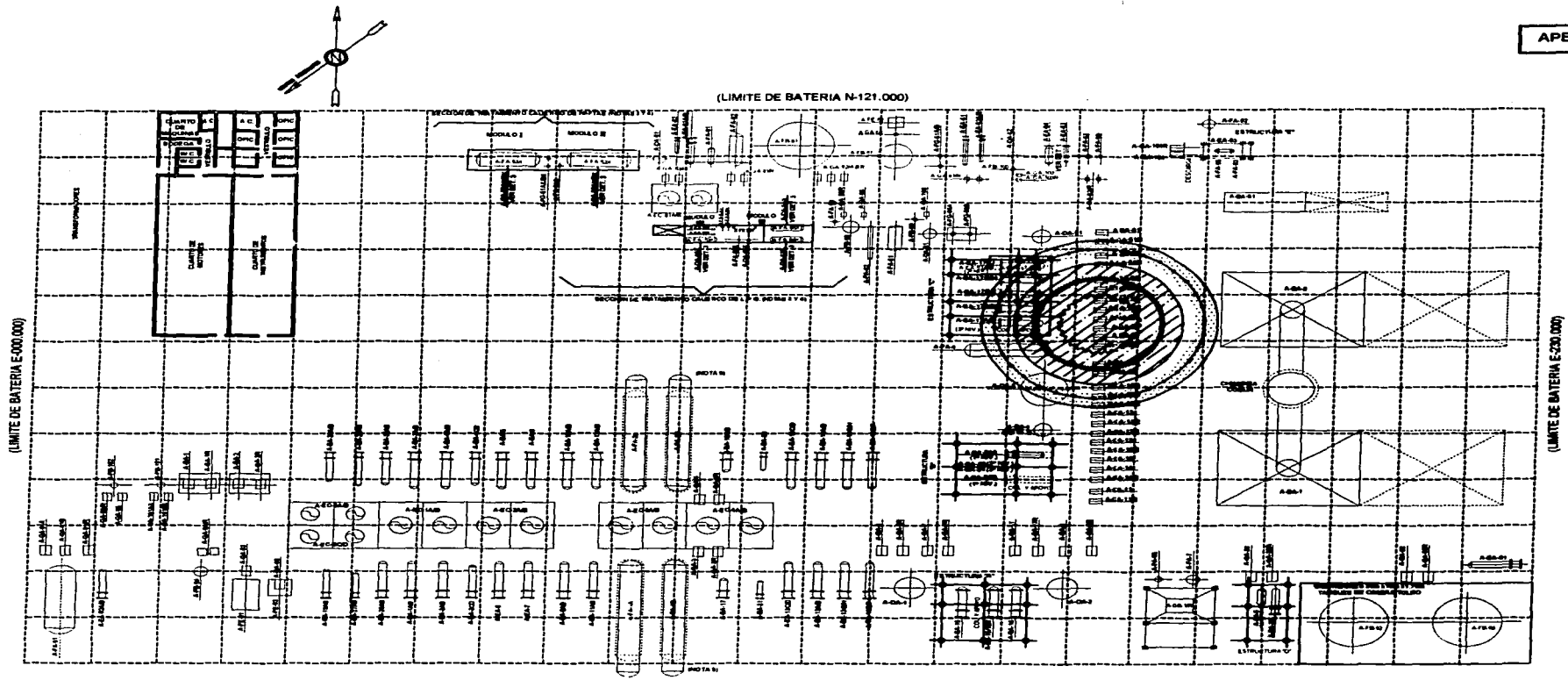
**ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS
FUGA DE LAS BOMBAS A-GA-SURVER
DE LA PLANTA PRIMARIA**

SECCIONES Y DESTILACIÓN ATRÓFICA

DIAGRAMA: FQ-AC-05

74mm

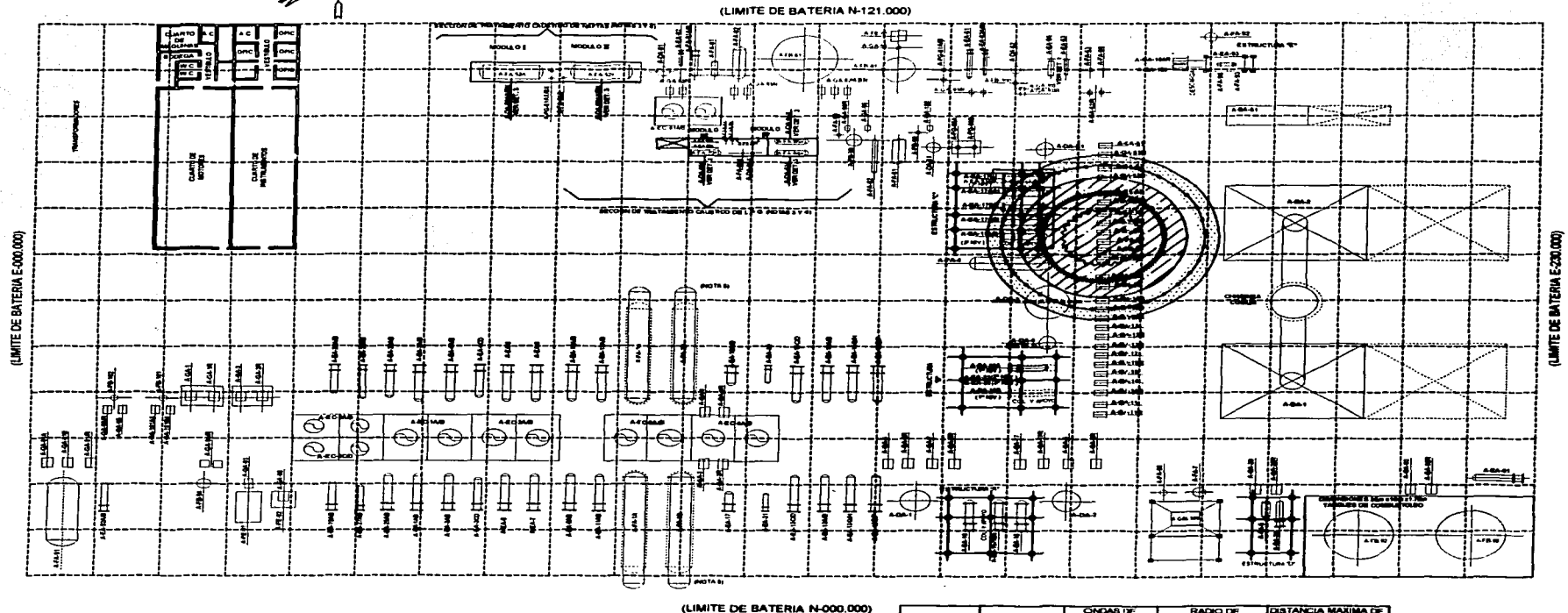
**ACERCA CON
FALLA DE ORIGEN**



EVENTO	ZONA	OPRES DE BOMBAS PRESION	RADIO DE AFECTACION	DISTANCIA MAXIMA DE AFECTACION (LIMITE)
EXPLOSION CON IGNICION TARDIA (CAT. 1.5F)	ZONA DE SALMISTRUEN	0.9 PSI	18.94 m	28.26 m
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	1 PSI	8.289 m	28.26 m
	ZONA DE RESCUE	2 PSI	8.231 m	28.23 m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
**ANALISIS DE CONSECUENCIAS
 FUGA DE LAS BOMBAS A-GA SERVIDOR
 DE LA PLANTA PRIMARIA**
 SECCIONARIAS: DESTILACION ATOMERICA
 DIAGRAMA: FO-AC-06
 PAGINA: 159

TESIS CON
 BALA DE ORIGEN

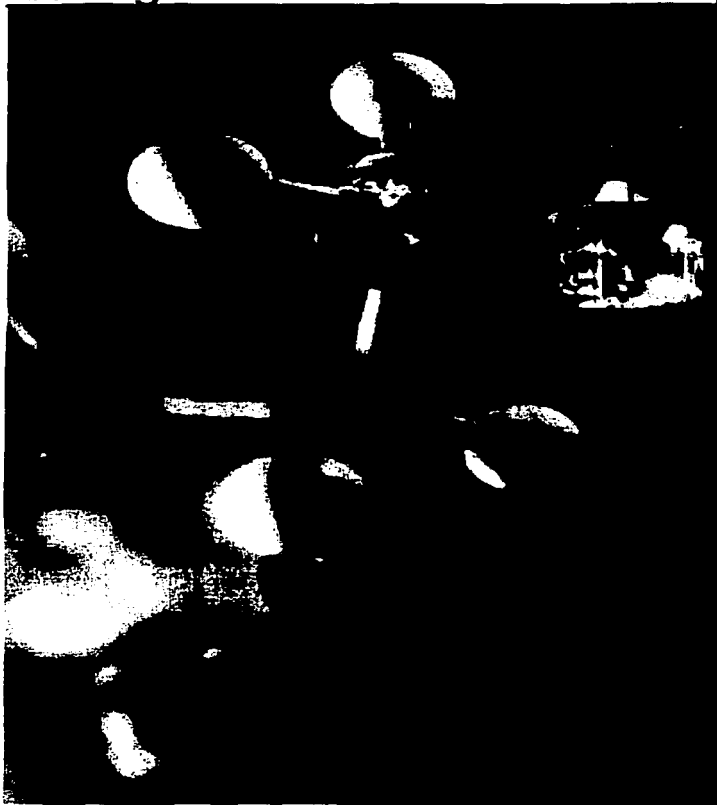


TESIS EN
CIENCIAS DE LA INGENIERIA
DE LA PLANTA PRIMARIA

EVENTO	ZONA DE SOBREPRESION	ONDAS DE SOBREPRESION	RADIO DE AFECTACION	DISTANCIA MAXIMA DE AFECTACION (LIMITE)
EXPLOSION CON IGNICION TARDIA (CAT. 2.2/E)	ZONA DE SALVAMANERA	0.5 PSI	15.85 m	30.00 m
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	1 PSI	0.257 m	30.00 m
	ZONA DE RESERVO	2 PSI	0.219 m	30.00 m

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 FACULTAD DE QUIMICA
ANALISIS DE CONSECUENCIAS
FUGA DE LAS BOMBAS A-GA-SERVIDOR
DE LA PLANTA PRIMARIA
 RECONSTRUCCION DESTILACION ATROFERICA
 DIAGRAMA: FQ-AC-07
 PÁGINA **160**

Bibliografía



Libros

Artículos

Páginas web

TESIS CON
PALA DE ORIGEN

Facultad de Química





BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- American Institute of Chemical Engineers **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. Center for Chemical Process Safety. 2nd ed. USA, 1992.
- Cruz Estrada, María de Lourdes **Metodología de Evaluación de riesgos en plantas de proceso..** CRES-ESIQIE. 1995. IPN. México.
- Field, Barry C. **Economía ambiental, una introducción**. Mc. Graw Hill. Colombia 1995
- Gary, J. H. Handwerk, G. E. **Refino de Petróleo**. Editorial Reverte, S. A. 1980.
- Lees, Frank P. **CCPS/AICHE. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis; New York, 1989**. Loss prevention in the process industries. 2nd Ed.; Vol. 3. Butterworth Heinemann. London.1996.
- Pastrana Arroyo, Gustavo. **Estudio de análisis de riesgos a plantas piloto hidrotratadoras en el IMP**. 1998. Instituto Tecnológico de Iguala. México.
- Santamaría, Ramiro, J.M. y Braña A **Análisis y reducción de riesgos en la industria química**. Fundación MAPFRE. 1994.
- Snoeck, Michele. **La industria de refinación en México, 1970-1985**. El Colegio de México, 1989.
- Wulthier, Pierre **El petróleo refino y tratamiento químico**. IFP.. Tomo I, Ediciones CEPSA S. A. 1971.

ARTICULOS:

- **Agentes perturbadores de Origen Químico - ATLAS ESTATAL DE RIESGOS**. Dirección de Protección Civil del Estado de México. 2001. Edo. de México, México.
- **Análisis de riesgo en la Planeación del Mantenimiento de Ductos en la Región Sur**. Ing. Hugo Pedro Chow Escobedo. Revista Ductos-Pemex No. 15 Año 2. Septiembre-Octubre 1999. México.
- **Análisis de Riesgo Probabilístico - IMM3100 Gestión Ambiental. Análisis de Riesgo Ambiental - Eventos de Baja Probabilidad de Ocurrencia**. Prof. Luis Cifuentes. Pontificia Universidad Católica de Chile. Octubre, 2001. Chile.
- **Análisis de Riesgos en el Diseño de Plantas de Proceso**. Ing. Juan Manuel Alferez Estrada e Ing. Jorge Luis Aguilar González. Sección México Centro. México.
- **Análisis de riesgos en la industria química**. Rea Soto Rogelio, Sandoval Valenzuela Salvador. Boletín IIE, mayo-junio del 2000.
- **Análisis de Riesgos y Operabilidad en el circuito de compresión (unidad 500), de la planta hidrodesulfuradora de naftas I de la refinería Miguel Hidalgo en Tula Hidalgo**. 2001. Arce Franco, Mario Alberto. Facultad de Química, UNAM. México.
- **Curso de Autoaprendizaje en Prevención, Preparación y Respuesta para desastres por Productos Químicos. Dr. Diego González Machin**. OPS/OMS. Programa de Preparativos para Casos de Desastres (PED), División de Salud y Ambiente (HEP) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS). Abril 2002. Sao Paulo, Brasil.



- **Estrategia y Experiencias de la Implantación del Sistema Integral para la Administración de la Seguridad Industrial.** Augusto E. Vera. XXXVIII Convención Nacional, Oaxaca 98. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, A. C. Gerente Corporativo. Dirección Corporativa de Sistemas de Seguridad Industrial. Petróleos Mexicanos.
- **Guía de Respuesta a Emergencias 2000- Una guía para los primeros respondedores a una Emergencia, durante la fase inicial de un incidente de materiales peligrosos.** Canutec ERGO Versión 2.00GUIA 128 LIQUIDOS INFLAMABLES (No Polar / No mezclables con Agua).
- **Lineamientos para la elaboración de trabajos de investigación y presentación de originales para su publicación.** Comité Editorial del Tribunal Federal Electoral. 1996. México.
- **Manual de Operación de la Unidad de Destilación Atmosférica de una planta primaria de la Refinería Miguel Hidalgo de Tula de allende, Hidalgo.**
- **Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos: Un reto para el siglo XXI.** Método de evaluación de riesgos en accidentes químicos Por: Jesús Zagal, México DF., Diciembre 1996.
- **Modelos Atmosféricos para Simulación de Contaminación y riesgos en Industrias.** SCRI Manual de Referencia. Sistemas Heurísticos, S.A de C.V. Versión 3.1. Octubre de 2000.
- **Riesgo Industrial: Análisis, cálculos y representación de consecuencias.** Francisco González Cubero, Luis Moneo Peco, J. A. Vilchez, Xavier Pérez-Alavedra Consejería de Tecnología, Industria y Comercio, Región de Murcia. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Marzo 2002. Zaragoza, España.
- **Toxicología Ambiental - Evaluación de Riesgos y Restauración Ambiental.** Carlos E. Peña, Dean E. Carter, Felix Ayala-Fierro. 1996-2001, The University of Arizona. EUA. Junio 2001.

PAGINAS WEB:

- **Procuraduría Federal de Protección al Ambiente.** Subprocuraduría de Auditoría Ambiental. Ing. Enrique S. Ortiz Espinosa. Abril de 2002. México.
- <http://www.profepa.gob.mx/saa/audite27.htm>
- **Petróleos Mexicanos-Infomes.** Informe Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Índice de accidentes 1996-2001. México. Abril, 2002.
- http://www.pemex.com/seguridad_ind_p1.html
- **Evaluación de riesgos - Emergencias en español.** Foro de discusión. Julio, 1999. Venezuela.
- <http://mx.groups.yahoo.com/group/emergencias/message/42>
- ➤ ➤ **Anexo "C". Metodologías de identificación de riesgos.** REDMINERA.COM. Chile, 2001.
- ➤ <http://www.redminera.com/Contenido/Codanexoc.htm>
- **Making Process Safety of Sustaining Performance in the 21st Century.** Sandier; Perdick; MC Edowney; Leverenz.
- <http://google.com>
- <http://cenapred.com/>



- > <http://semarnat.gob.mx/>
- > <http://ine.gob.mx/>
- > <http://pemex.com/>
- > <http://imp.com/>

SOFTWARE:

- > **Hazop Wizard** versión 2.13 para Access 200/xp ©UNAM, 2002. Facultad de Química.
- > **PHAST** (process Hazard Analysis Software Tools) Versión 6.0

**Imagen de portadas tomada del artículo de Flowserve Hydrocarbon processing Bulletin FPD-4 (E) Printed in U.S.A. March 2002 © Flowserve Corporation

Bibliografía Glosario

- > Glosario de Petróleo y Gas. **Argentina, 2001.**
<http://www.caletco.com.ar/eco/glosdefi.htm>
- > Glosario - Sistema Nacional de Protección Civil **Panamá, 2002.**
<http://www.c-com.net.pa/~snpc/glosario.htm>
- > **Materiales Peligrosos - Glosario e Hipervínculos de Interés.** Venezuela, 2002
<http://www.ciber-enlace.com/matpel/glosar.asp>
- > Instalación de Elementos de Seguridad: (Parte 2) Enrique E. Rueda - Buenos Aires-Argentina
<http://www.pharmaportal.com.ar/areaseg10.htm>
- > **Glosario de Términos de Lubricación y Análisis de Aceites.** Mantenimiento Proactivo y Análisis de Aceite. México.
<http://www.noria.com.mx/dictionary.html>
- > **Protocolos de Intervención**
La Asociación Profesional de Técnicos de Bomberos al Servicio del Mundo de la Emergencia y la Protección Contra Incendios. España.
<http://www.emersis.org/apuntes/protocolo.html>
- > Diccionario - Prevención de riesgos laborales. **España.2002.**http://www.prevencionna.com/diccionario/a_shtml
- > **Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos: Un reto para el siglo XXI** Método de evaluación de riesgos en accidentes químicos. Definiciones Por: Jesús Zagal, México D.F., Diciembre 1996
- > **Seguridad Intrínseca - Introducción a los principios de protección contra explosión** Tecnología de Equipos a prueba de explosión. 1999. <http://www.texca.com/si.html>