

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO



FACULTAD DE QUIMICA



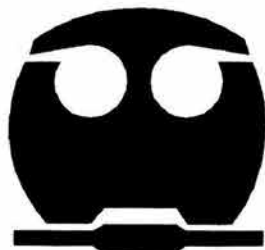
EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

ANALISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA DE FUERZA Y
SERVICIOS AUXILIARES APLICANDO LAS TECNICAS
¿QUE PASA SI...?, LISTAS DE VERIFICACION, HAZOP,
ARBOL DE FALLAS Y ANALISIS DE CONSECUENCIAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A :
HUGO FLORES DEL CAMPO



MEXICO, D.F.

2004



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.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Prof. Eduardo Rojo y De Regil
Vocal	Prof. Pedro Roquero Tejeda
Secretario	Prof. M. Javier Cruz Gómez
1er. Suplente	Prof. Baldomero Pérez Gabriel
2º. Suplente	Prof. Ramón Ramírez Martinell

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

*Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa",
Cadereyta Jiménez, Nuevo León.*

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

Asesor



Dr. M. Javier Cruz Gómez

Supervisor técnico



Ing. Ramón García Pineda

Sustentante



Hugo Flores del Campo

"Siempre estamos posponiendo nuestra vida. La peor irrealidad es trabajar para el futuro y sacrificar nuestro presente por esa falacia"

A Dios:

Por darme la vida y permitirme alcanzar esta gran meta de mi vida, por poner en mi camino a los mejores padres y por permitirme compartir este momento con ellos.

A mis padres:

Alejandro y Gloria por demostrarme su amor, cariño y confianza, por darme la vida, por su apoyo incondicional en todo momento y por enseñarme que la razón está en el camino de la verdad.

A mi Alma Mater:

Por darme la oportunidad de pertenecer a esta gloriosa institución pues la quiero, respeto y nunca olvidare. En especial a la Facultad de Química que me dio amigos y los conocimientos necesarios para labrar un futuro lleno de posibilidades.

A mis hermanos:

Gabriel, Cristian y Abril por enseñarme quienes son mis mejores amigos y por compartir esta alegría a mi lado.

A la memoria de mis abuelos:
Gabriel, Vicente y Teresa,
los llevo en mi corazón.

A mi abuela:
Doña Altagracia del Campo
por mostrarme que en la vida
no hay imposibles, por darle
alegría a mi vida.

A la familia Flores Torres:
Guadalupe, Francisca, José
Luis, Teresa, Toño, Javier,
Irma, Patricia, Martín, por
sus consejos en cada
momento de mi vida.

**A la familia del Campo
Pacheco:**
Sebastiana, Graciela, Felisa,
Gabriela, Alicia, Guadalupe,
Esteban, Alejandro, Eliseo,
Pedro, José. Por su apoyo y
motivación día con día.

A mi tío Rogelio Haaz:

Donde quiera que estés gracias por enseñarme el camino del conocimiento, por que este triunfo es gracias a tus palabras de aliento y motivación, te recordare por siempre.

A los ingenieros:

Dr. Javier Cruz, Eduardo Rojo, Pedro Roquero, Ramón García, Aldo Hernández, Ignacio Ramírez por su dedicación y brillante labor.

A mis primos y amigos:

Héctor, Rogelio, Roy y Gabriel gracias por compartir momentos inolvidables.

A Graciela Castillo:

Por ser la persona que me muestra la felicidad cuando estas a mi lado, en momentos como este y que llena mi vida de esperanza, por darme fuerzas para alcanzar metas importantes en mi vida. Te amo.



Tema	PÁGINA
INTRODUCCIÓN.	2
A. Objetivos.	5
B. Motivación.	6
Capítulo I. MARCO TEÓRICO.	13
A. Petróleo en México.	15
B. Refinación en PEMEX. Condiciones de operación extremas en los procesos de refinación del petróleo.	17
C. Conceptos básicos.	20
1. Riesgo y Peligro.	20
2. Accidente. Clasificación de los accidentes químicos.	22
D Análisis de riesgos.	23
1. Análisis de riesgos en la industria petrolera.	24
2. Etapas para elaborar un análisis de peligros y riesgos potenciales.	24
3. Administración de riesgos y sus etapas. Objetivos de la administración de riesgos	26
4. Desarrollo de estudios de análisis de riesgos.	27
5. Estimación de frecuencias.	29
6. Estimación de riesgos y de las consecuencias.	29
7. Toma de decisiones en materia de seguridad industrial.	30
8. Normatividad y seguridad industrial en PEMEX.	30
E. Técnicas para efectuar el análisis de riesgos.	32
1. Metodologías.	32
2. Objetivo y alcance del análisis de riesgos.	33
3. Identificación de riesgos.	34
a. Códigos y normas de seguridad.	34
b. Análisis histórico de incidentes.	35
c. Análisis preliminar de riesgos.	37



d. Revisión / inspección de seguridad.	39
e. Análisis del modo y efecto de las fallas (FMEA).	39
f. Análisis del modo, efecto y criticidad de las fallas (FMECA).	41
g. Análisis de árbol de sucesos (ETA).	42
h. Análisis de error humano.	42
4. Índices de riesgos. Índice Dow / Mond de incendio y explosión	42
5. Técnicas utilizadas en el análisis de riesgos.	43
a. Análisis What if...? (¿Qué pasa si...?).	43
- Descripción.	44
- Ámbito de aplicación.	44
- Recursos necesarios.	44
- Soportes informaticos.	44
- Ventajas / desventajas.	45
- Etapas de un What if...? (Qué pasa si...?).	45
b. Análisis de árbol de fallas. Elaboración del árbol de fallas	47
c. Análisis funcional de operatividad (HazOp).	52
- Descripción.	52
- Definiciones para el HazOp.	53
o Definición del área de estudio.	53
o Definición de los nodos.	53
o Definición de las desviaciones a estudiar.	54
- Recursos necesarios para el HazOp.	55
- Soportes informaticos.	56
- Ámbito de aplicación.	57
- Documentación del HazOp.	57
- Ventajas / desventajas.	58
- Resultados esperados del análisis HAZOP.	58
d. Check list (Lista de verificación).	59
- Descripción.	59
- Ámbito de aplicación.	59



- Recursos necesarios.	60
- Soportes informaticos.	60
- Ventajas / desventajas.	60
e. Análisis de consecuencias.	60
- Selección de eventos indeseables a analizar.	61
- Especificación de los escenarios.	61
- Determinación de la mecánica de liberación o exposición del material.	62
- Determinación de la dispersión del material.	62
- Cuantificación de las consecuencias sobre el entorno.	62
- Emisión de recomendaciones.	63
- Cuantificación de los efectos: modelos de accidentes.	63
- Tipos de eventos.	65
- Cuantificación de los daños: modelos de vulnerabilidad.	67
6. Uso e importancia del análisis de riesgos.	68
7. Selección de la técnica de análisis.	70
Capítulo II. TRABAJO EN CAMPO.	73
A. Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa".	73
B. Datos de proceso y actualización de diagramas.	74
C. Metodología empleada para el estudio de riesgos en la planta de fuerza y servicios auxiliares	77
D. Planta de fuerza y servicios auxiliares.	78
1. Descripción general.	78
2. Tratamiento de agua.	79
a. Descripción del suministro de agua cruda.	79
b. Sistema de desmineralización de agua cruda.	79
c. Planta desmineralizadora (UDA-1, UDA-2, UDA-3).	81
d. Resinas empleadas y volumen.	82
e. Principio de funcionamiento de intercambio iónico.	83



f. Planta Lawsco tratadora de condensado aceitoso y limpio recuperado.	83
g. Condensado aceitoso.	83
h. Condensado limpio.	84
i. Descripción del sistema de suministro de agua contra incendio.	84
j. Descripción del sistema de la planta potabilizadora.	85
3. Generación de vapor.	85
a. Calderas.	85
b. Ventiladores de tiro forzado.	86
c. Ventiladores de aire primario.	86
d. Precalentador regenerativo de aire.	87
e. Caja de aire.	87
f. Horno.	88
g. Sistema agua de alimentación.	88
h. Domo de vapor.	88
i. Domo de lodos.	88
j. Sobrecalentador.	89
k. Atemperación.	89
l. Cabezal de salida de vapor sobrecalentado.	89
m. Sistema de gas combustible.	90
n. Sistema de aceite combustible.	90
o. Sopladores de hollín.	91
p. Banco generador.	91
4. Equipos auxiliares.	91
a. Turbogeneradores.	91
- Sistema de lubricación.	92
- Sistema de enfriamiento.	92
b. Torre de enfriamiento.	92
c. Compresores de aire.	93



5 Energía eléctrica.	94
E Análisis What if...? (¿Qué pasa si...?), lista de verificación y Hazop.	94
1. Análisis What if...? (¿Qué pasa si...?) y check list (lista de verificación).	94
2. Evaluación de los niveles de riesgos con la técnica HazOp.	95
3. Nodos seleccionados para el estudio HazOp	98
4. Elaboración del árbol de fallas.	99
5. Consideraciones para el estudio de análisis de consecuencias.	100
Capítulo III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	105
A. Criterio de selección de la técnica de análisis.	105
B. Resultados obtenidos con las técnicas What if...? (¿Qué pasa si...?), check list (lista de verificación) y HazOp.	107
1. Recomendaciones obtenidas por los estudios HazOp y What if...? (¿Qué pasa si...?).	127
2. Lista de buenas prácticas que se obtuvieron del estudio HazOp, What if...? (¿Qué pasa si...?).	131
C. Resultados y recomendaciones obtenidos con la técnica árbol de fallas.	132
D. Resultados obtenidos con la técnica de análisis de consecuencias.	134
1. Eventos seleccionados.	135
2. Gráficas de las consecuencias por fuga de cloro anhidro de la planta potabilizadora de agua.	139
3. Gráficas de las consecuencias por fuga de gas combustible en el tanque acumulador 283-V.	140
4. Discusión de resultados.	140
CONCLUSIONES.	144
APÉNDICES.	146
Apéndice A.	147
Apéndice B.	150
Apéndice C.	157
BIBLIOGRAFÍA.	162



ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 1. Hoja informativa de accidentes químicos e industriales.	8
Tabla 2. Compañías reconocidas en el ámbito internacional que cuentan con sistemas administrativos similares al SIASPA.	11
Tabla 3. Clasificación del petróleo.	17
Tabla 4. Métodos de identificación de riesgos.	32
Tabla 5. Técnicas para la identificación de peligros y sus principales aplicaciones.	34
Tabla 6. Método del análisis histórico. Banco de datos de accidentes.	37
Tabla 7. Simbología para la elaboración de un árbol de fallas.	51
Tabla 8. Palabras guía para localizar desviaciones o causas.	55
Tabla 9. Estimación del alcance de magnitudes físicas peligrosas.	69
Tabla 10. Criterios para seleccionar la técnica de análisis.	70
Tabla 11. Tabla de frecuencias.	96
Tabla 12. Tabla de gravedades.	97
Tabla 13. Clases de riesgo.	98
Tabla 14. Nodos de la planta de fuerza y servicios auxiliares a las que se les aplicó la técnica HazOp.	99
Tabla 15. Criterios por el INE para análisis de riesgos.	101
Tabla 16. Niveles de radiación.	102
Tabla 17. Niveles de sobrepresión.	102
Tabla 18. Daños en plantas y refinerías.	103
Tabla 19. Recomendaciones jerarquizadas resultantes del análisis de riesgos HazOp y What if...? (¿Qué pasa si...?) realizado a modificaciones implementadas en la planta de tratamiento de agua de la planta de fuerza y servicios auxiliares.	127
Tabla 20. Recomendaciones jerarquizadas resultantes del análisis de riesgos HazOp y What if...? (¿Qué pasa si...?) realizado a modificaciones implementadas en la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica de la planta de fuerza y servicios auxiliares.	130
Tabla 21. Resultados de concentración a distancias para respuesta a emergencias.	136



Tabla 22. Probabilidad de muerte por fuga de cloro anhidro.	137
Tabla 23. Niveles de radiación térmica por Jet fire.	138
Tabla 24. Efectos de sobrepresión por fuga de gas combustible en el tanque acumulador 0283-V.	138

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Utilidad del análisis de riesgos en la toma de decisiones.	31
Figura 2. Uso de información y productos principales en FTA.	49
Figura 3. Compuertas lógicas.	52
Figura 4. Tabla típica de resultados del análisis HazOp.	58
Figura 5. Comportamiento de una fuga.	66
Figura 6. Metodología de análisis de riesgos.	71
Figura 7. Matriz de riesgos.	97
Figura 8. Matriz de clases de riesgo.	98
Figura 9. Huella de la nube por la fuga de cloro anhidro, ancho de la nube (m) vs distancia a favor del viento (m). Zona de amortiguamiento.	139
Figura 10. Huella de la nube por la fuga de cloro anhidro, ancho de la nube (m) vs distancia a favor del viento (m). Zona de alto riesgo.	139
Figura 11. Representación de Jet fire.	140
Figura 12. Índice de accidentes en PEMEX.	148
Figura 13. Etapas de estudio de análisis de riesgos.	149



LISTA DE ABREVIATURAS.

AAE	Análisis de Árbol de Eventos.
AAF	Análisis de Árbol de Fallas.
AC	Análisis de Consecuencias.
ACPM	Aceite Combustible para Motores.
API	Instituto Americano del Petróleo del inglés American Petroleum Institute.
APR	Análisis Preliminar de Riesgos.
ASME	Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos del inglés American Society of Mechanical Engineers.
ASTM	Sociedad Americana para Prueba de Materiales del inglés American Society for Testing Materials.
BLEVE	Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición del inglés Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion.
CCPS	Centro para la Seguridad en los Procesos Químicos del inglés Center for Chemical Process Safety.
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres.
CFE	Comisión Federal de Electricidad.
CMC	Conjuntos Mínimos de Corte.
DTI	Diagrama de tubería e instrumentación.
EAR	Estudios de Análisis de Riesgo.
ETA	Análisis de Árbol de Eventos del inglés Event Tree Análisis (Ver AAE).
FMECA	Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad del inglés Failure Modes, Effects and Criticality Analysis.
FTA	Análisis de Árbol de Fallas del inglés Fault Tree Análisis (Ver AAF).
HAZOP	Análisis de Riesgos y Operabilidad del inglés Hazard and Operability Studies.
IDLH	Peligro Inmediato para la Vida o la Salud del inglés Immediately Dangerous for Life or Health.



INE	Instituto Nacional de Ecología
ISO	Organización Internacional para la Estandarización del inglés International Organization for Standardization.
KV	Kilo Volts.
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad.
MAA	Menor al Adecuado.
MDO	Modificaciones al desempeño Operacional.
MPP	Mantenimiento Preventivo y Predictivo.
MW	Mega Watts.
OSHA	Administración de la Seguridad y Salud Ocupacional del inglés Occupational Safety of Health Administration.
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
PGR	Programa de Gerencia de Riesgo.
PHA	Análisis Preliminar de Riesgos del inglés Preliminary Hazard Analysis (Ver APR).
PHAST	Herramienta para el Análisis de Riesgos de Proceso y la Seguridad del inglés Process Hazard Analysis Safety Tool.
SCD	Sistema DE Control Distribuido.
SEDUE	Secretaria de Desarrollo Urbano y Ecología.
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
SIASPA	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental.
TBS	Tablero de Sincronización.
TDP	Tablero de Distribución.
TLV	Valores Límites Umbrales del inglés Threshold Limit Values.
UDA	Unidad Desmineralizadora.
VCE	Explosión por una Nube de Vapor del inglés Vapor Could Explosion.



GLOSARIO

Accidente: Evento o combinación de eventos no deseados, inesperados e instantáneos, que tienen consecuencias tales como lesiones al personal, daños a terceros en sus bienes o en sus personas, daños al medio ambiente, daños a las instalaciones o alteración a la actividad normal del proceso.

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 periodo.

Análisis de riesgos: Conjunto de técnicas que consisten en la identificación, análisis y evaluación sistemática de la probabilidad de la ocurrencia de daños asociados a los factores externos (fenómenos naturales o sociales), fallas en los sistemas de control, los sistemas mecánicos, factores humanos y fallas en los sistemas de administración, con la finalidad de controlar y/o minimizar las consecuencias a los empleados, población en general, medio ambiente, producción y/o a las instalaciones.

Análisis de vulnerabilidad: Proceso para determinar el valor arriesgado y la susceptibilidad de los bienes expuestos a una amenaza específica.

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 (Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición.): 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.

Calor: Es una forma de energía que se aprecia por el efecto que producen los cuerpos, por ejemplo: la temperatura, la dilatación y los cambios de estado físico.

Causas: Son las razones por las que se pueden producir desviaciones, es decir es lo que hace que un incidente ocurra.

Cavitación: 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.

Corriente eléctrica: Es el movimiento de cargas eléctricas, las cuales pueden ser positivas, negativas o ambas.

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 derivada de un incidente/accidente que puede resultar en efectos adversos a los trabajadores, la comunidad, el ambiente y/o las instalaciones y que por su naturaleza de riesgo, activa una serie de acciones para controlar o mitigar la magnitud de sus efectos.

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: Estudios que se desarrollan para determinar y prevenir los tipos de riesgos a la salud del personal, las instalaciones y/o los ecosistemas, que se ocasionan como consecuencia de posibles incidentes y accidentes.

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:** Evento no deseado, inesperado e instantáneo, que puede o no traer consecuencias al personal, a terceros ya sea en sus bienes o en sus personas, al medio ambiente, a las instalaciones y/o alteración a la actividad normal del proceso.
- Inflamable:** Materiales con punto de evaporación inferior a 61° C (141.8 ° 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, 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. Exposición a un riesgo.
- Prevención:** Conjunto de medidas tomadas para evitar o disminuir un riesgo.
- Probabilidad:** Predicción calculada de la ocurrencia de un accidente en un cierto período 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.
- Temperatura:** La temperatura es una media para saber que tan caliente o frío está un objeto. La temperatura determina la dirección del flujo de calor. El calor siempre fluye de las temperaturas más altas a las más bajas.
- 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.



Volt (V): Es la unidad que mide la fuerza electromotriz (fem) en un circuito. Una fem de un volt hará que un Ampere de corriente fluya a través de una resistencia de un ohm.

Vulnerabilidad: Facilidad con la que un sistema puede cambiar su estado normal a uno de desastre, por los impactos de una calamidad.

Watt (W): Mide la potencia en un circuito. $W= I^2 * R$, un watt es la potencia que necesita para que un amper fluya a traves de una resistencia de un ohm. Por substitución. $W=E * I$.

Zona de peligro: Entorno espacio-temporal, en el cual las personas o los bienes se encuentran en peligro.



Introducción.

INTRODUCCIÓN.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la seguridad se inició a fines del siglo antepasado, cuando el estudio de aspectos ambientales y mecánicos a través de la ingeniería e higiene industrial obtuvo considerables éxitos al disminuir el ambiente inanimado de trabajo. Décadas después los expertos se percataron que a través de la capacitación y la supervisión involucrarían al personal en el esfuerzo preventivo de accidentes. Esto disminuiría notablemente los percances.

Nueve de cada diez accidentes en la industria recaían en la inseguridad que presentaban algunos trabajadores al realizar su trabajo. Después de varios estudios biológicos, psicológicos, de destrezas y habilidades se llegó a una conclusión, los accidentes en el trabajo no están determinados únicamente por características biológicas y psicológicas insuficientes sino por otras variables que situaban al accidente como una expresión o síntoma de mala adaptación coincidente con un bajo rendimiento y una conducta inadecuada.

Las exigencias de la sociedad, cada vez más preocupada por la seguridad y el medio ambiente, requieren el desarrollo de conocimientos, técnicas y estrategias que permitan minimizar los riesgos asociados a los procesos industriales. Indudablemente los accidentes que ocurren en las empresas, diariamente, van mermando su productividad y eficiencia.

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.

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 al desconocimiento de los potenciales cinéticos y termodinámicos destructivos, sino por la falla de



confiabilidad de sistemas instalados para contar con una seguridad adecuada contra la ocurrencia de estos accidentes.

La industria química se interesa continuamente en la innovación. Produce una corriente constante de nuevos procedimientos y productos que a veces requieren trabajar en condiciones extremas de temperatura, presión, escala de manejo o de toxicidad. Los cambios importantes producen, a su vez, una serie de cambios menores a medida que los conocimientos aumentan y que los procedimientos se hacen óptimos. Estas industrias son peligrosas ya que potencialmente pueden ocurrir explosiones, incendios dispersión de sustancias tóxicas que puedan dañar a los trabajadores, a la comunidad y al medio ambiente.

Las industrias químicas más importantes son la de fabricación del ácido sulfúrico, la industria del vidrio, la de producción de aluminio, cobre, hierro y acero, la de obtención de amoníaco y abonos nitrogenados, y la de fabricación de sosa solvay, la industria carboquímica, cuya materia prima es el carbón, la industria petroquímica, cuya materia prima es el petróleo, y como derivadas de éstas las industrias de los plásticos y resinas sintéticas, y las de fabricación de detergentes.

Entre las industrias más peligrosas se encuentran:

- Producción de productos petroquímicos y de refinación.
- Producción de productos químicos.
- Almacenamiento y transportación de gas licuado de petróleo.
- Almacenes y centros de distribución de productos químicos.
- Almacenes de fertilizantes.
- Fabricas de explosivos.
- Fabricas en que se utiliza cloro, ácido sulfúrico, sosa etc., en grandes cantidades.

La industrias de refinación de petróleo ha experimentado una gran expansión y múltiples cambios a partir de los años 50's, incrementando el tamaño de las unidades de proceso, desarrollando 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 más adecuada para disminuir



los riesgos, mediante el desarrollo de nuevas tecnologías y proceso, así como mediante la prevención y control de riesgos utilizando técnicas más especializadas de identificación, evaluación de riesgos y mejora de los sistemas administrativos.

Actualmente se ha incrementado la necesidad de aplicar métodos más sistemáticos de seguridad dentro de la industria, especialmente en la fase de diseño de la planta. Por otra parte, la sociedad ejerce una presión cada día mayor para que se establezcan normas perfeccionadas de seguridad.

Siempre que se realiza algo nuevo existe el peligro de que alguna parte del proceso no se comporte de manera prevista y que esa desviación tenga graves consecuencias para otras partes del proceso.

La implementación de las Normas ISO implica la toma de conciencia de las organizaciones sobre la cuestión ambiental, teniendo consecuencias directas sobre aspectos económicos tales como el mejor aprovechamiento de los recursos, condiciones ventajosas para el acceso al crédito, evitar sanciones por el no cumplimiento de la normativa vigente, tener que asumir riesgos y lograr un mejor posicionamiento en el mercado.

El actual crecimiento de la economía mundial demanda cada vez el uso de mayor cantidad de energía y el petróleo es el recurso energético más importante en la historia de la humanidad; un recurso natural que aporta la mayor parte, un 40%, del total de la energía que se consume en el mundo. El petróleo, como fuente energética no renovable, ya está dando señales de su agotamiento a nivel de las reservas mundiales y de su ritmo productivo. A este hecho hay que añadir el preocupante aumento de la demanda. Así pues el consumo en 10 años se incrementará en 20 millones de barriles diarios y, al mismo ritmo de crecimiento, en el 2020 la demanda rondará los 115 millones de barriles diarios. Se estima en que la tasa de caída anual en cuanto a producción corresponde a un 5 %. Esto supone que en 10 años habrá un déficit cercano a los 60 millones de barriles diarios. Cifras alarmantes que demuestran la insostenibilidad de este recurso energético.



Ante este panorama los países dependientes han comenzado a buscar alternativas al petróleo, centrando sus esfuerzos en la obtención de energías baratas y no contaminantes que puedan ser producidas por todos los países para así eliminar monopolios. Un posible sustituto del petróleo como combustible es el hidrógeno, pero su proceso de obtención resulta todavía demasiado caro, y se presume que han de pasar varias décadas para que destrone al rey negro de su trono.

En México PEMEX es la empresa que abarca la exploración y explotación de hidrocarburos, siendo la empresa más grande del país y una de las diez más grandes del mundo en términos de activos como ingreso. Las actividades de PEMEX abarcan la exploración y explotación de hidrocarburos, así como la producción, almacenamiento, distribución y comercialización de productos petrolíferos y petroquímicos. 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.

A. OBJETIVOS.

Debido a que en todo el mundo la gente a sido víctima de accidentes industriales que descargan sustancias peligrosas en el ambiente y a la importancia que tiene el análisis de riesgos para la prevención y mitigación de estos accidentes, el presente trabajo se desarrolla bajo los siguientes objetivos:

- ◆ Describir el proceso de la generación de vapor y generación de energía eléctrica en una planta de fuerza y servicios auxiliares.
- ◆ Actualizar los diagramas de tubería e Instrumentación de la planta de fuerza y servicios auxiliares.
- ◆ Aplicar las técnicas de análisis de riesgo, What if...? (Qué pasa si...?, check list (listas de verificación), HazOp, árbol de fallas y análisis de consecuencias para identificar y evaluar los riesgos potenciales en líneas y equipos de la planta de servicios auxiliares.



- ♦ Analizar los resultados obtenidos del análisis de riesgos de la planta mencionada y dar recomendaciones.

B. MOTIVACIÓN.

En las últimas décadas, la industria química se ha desarrollado a un ritmo acelerado y en muchos países representa uno de los principales factores de progreso económico, además de los beneficios potenciales de esta situación. Por otro lado se han incrementado significativamente los accidentes durante la producción, manipulación, uso, transporte, almacenamiento y disposición de sustancias químicas, con el consiguiente daño en la salud de la población, el ambiente y las propiedades.

En los países de la región de América Latina y el Caribe, con frecuencia se producen accidentes con materiales peligrosos, los que requieren de medidas y cuidados específicos para controlar y disminuir su impacto. Para esto, es necesaria la intervención de personas debidamente capacitadas.

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.

No se puede ignorar la posibilidad de la ocurrencia de accidentes ambientales provocados por productos químicos. Sin embargo, es necesario tratar de reducir al máximo la probabilidad de ocurrencia de estos episodios mediante el desarrollo de medidas preventivas adecuadas. También es necesario desarrollar medidas correctivas eficaces para la reducción de los impactos causados al ambiente durante la ocurrencia de los accidentes.

La eficacia de la prevención de los accidentes ambientales y minimización de sus impactos, sólo será posible a través de la elaboración de un sistema adecuado que se deberá actualizar y perfeccionar permanentemente con la finalidad de:

- a. Preservar la vida humana.
- b. Evitar impactos significativos para el ambiente.
- c. Evitar o minimizar las pérdidas materiales.



“Todo es posible y está al alcance de todos”. En épocas como la actual, la conservación del patrimonio es fundamental para aumentar la productividad y la competitividad de las industrias, ante lo cual debemos de estar preparados para cualquier eventualidad o emergencia que pueda afectarnos.

La seguridad en la industria implica mucho más que la seguridad física. Cada componente físico, humano y metodológico debe formar parte de un sistema seguro de producción. Los estudios de seguridad industrial se realizan sobre estas áreas:

- ◆ Instalaciones.
- ◆ Procesos de producción.
- ◆ Procesos de distribución.
- ◆ Seguridad de personal.

En general, seguridad es el resultado del trabajo bien hecho. Las causas que provocan los accidentes son las mismas que originan impactos ambientales negativos, pérdidas en los volúmenes o la calidad de la producción u otros efectos indeseados. La Seguridad es una función gerencial. Cada integrante de una línea de mando debe ser responsable de la seguridad del personal y la integridad de los equipos a su cargo, a un mismo nivel que de la ejecución y la calidad del trabajo que deba realizar. La Seguridad protege los recursos para producir, está directamente relacionada con la “eficiencia del trabajo”, y se orienta a la corrección de errores, omisiones o debilidades del sistema administrativo, siendo por lo tanto un instrumento para la mejora continua de las empresas, y de su supervivencia en un entorno de mayor competencia.

A partir de la definición de accidente como “todo acontecimiento indeseado, que afecta el normal desarrollo del proceso productivo, y que deriva en lesiones a las personas o en daños a la propiedad”, Seguridad Industrial desarrolla las siguientes tareas de prevención (actuación sobre las causas del accidente, a efectos de evitar su ocurrencia) y protección (actuación sobre sus consecuencias, a efectos de minimizarlas):

- ◆ Recopilación y cumplimiento de la normativa vigente.
- ◆ Elaboración de normas y procedimientos.
- ◆ Prevención y protección contra incendios.
- ◆ Sistema de permisos de trabajo.
- ◆ Asesoramiento y capacitación.



- ◆ Registro e investigación de accidentes.
- ◆ Gestión de equipos de protección personal.
- ◆ Elaboración de estadísticas de accidentabilidad.

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

AÑO	PAÍS	TIPO DE ACCIDENTE	PRODUCTO QUÍMICO	MUERTES	LESIONADOS	EVACUADOS
1975	Italia	Explosión planta química	Dioxina		193	730
1979	EUA	Falla reactor	Radionúclidos			200.000
1981	Venezuela	Explosión	Petróleo	145	1.000	
1984	India	Escape en planta química	Metilisocianato	2.500	50.000	200.000
1984	México	Explosión de tanque	Gas	452	4.248	31.000

TABLA 1. Hoja informativa de accidentes químicos e industriales.
Accidentes / incidentes químicos de mayor gravedad, 1975-1984.¹

Las culturas tradicionales no tenían un concepto del riesgo porque no lo necesitaban. Riesgo no es igual a amenaza o peligro. El riesgo se refiere a peligros que se analizan activamente con relación a posibilidades futuras. Por esta razón, la idea de riesgo siempre ha estado relacionada con la modernidad; sin embargo en el periodo actual este concepto asume una nueva y peculiar importancia. Se suponía que el riesgo era una forma de regular el futuro, de normalizarlo y traerlo bajo nuestro dominio.

De acuerdo a lo antes mencionado la industria química a puesto empeño en la prevención de accidentes. En México, como en varios países una de las industrias químicas importantes es la industria petrolera y la encargada de manejar este rubro es, como lo había mencionado antes,

¹ Santamaría, Ramiro, J.M. y Braña A **"Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química"**, España, Fundación MAPFRE. 1994, p. 3.



PEMEX (Petróleos Mexicanos) que es una empresa que busca día con día ser una de las mejores en cuanto a seguridad industrial y protección ambiental. Para lograr este objetivo PEMEX, a partir de junio de 1998 ha iniciado la implantación del Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA).

El Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA) fue diseñado para ser una parte esencial de la estrategia de Seguridad y Protección Ambiental y totalmente consistente con la visión y principios de la política de Petróleos Mexicanos en la materia.

Las bases de diseño del SIASPA son las siguientes:

- ◆ Apoyo a la política y estrategia sobre seguridad y protección ambiental de petróleos mexicanos.
- ◆ Un sistema corporativo adecuado para todas las instalaciones de petróleos mexicanos.
- ◆ Enfatizar que las funciones de seguridad y protección ambiental son responsabilidad de la línea.
- ◆ Considerar la cultura petrolera existente.
- ◆ Basarse en un proceso de auto-evaluación a nivel instalación.
- ◆ Incluir un proceso de mejora continua.
- ◆ Ayudar a desarrollar, impulsar y consolidar una cultura de seguridad y protección ambiental en petróleos mexicanos, orientada a la prevención.
- ◆ Consistente con normas internacionales y las mejores prácticas demostradas.

Por lo anterior, el SIASPA se puede definir como: "La herramienta administrativa que facilita el diagnóstico, evaluación e implantación de la seguridad industrial y la protección ambiental en las instalaciones de Petróleos Mexicanos, organismos subsidiarios y empresas filiales".² El SIASPA se encuentra integrado por tres componentes esenciales: Factor Humano, Métodos e Instalaciones, así como 18 elementos repartidos entre los componentes, tal y como se muestra en la tabla 2.

² "Manual del SIASPA", Sección 4.0, SIASPA PEMEX, México, Marzo 2001, p 2



El FACTOR HUMANO es el principal componente del SIASPA y constituye el activo más valioso para la empresa. El sistema tiene que construirse sobre un fuerte liderazgo y la participación decidida del personal. El liderazgo de la Alta Dirección es de especial importancia y tiene que demostrarse a través de una participación activa y visible de los directivos, manteniendo una política precisa, clara y objetiva. La responsabilidad debe ejercerse en todos los niveles de la organización. Los logros deben reconocerse y las deficiencias señalarse. Los líderes deben impulsar y estimular las buenas prácticas y corregir las actitudes negativas. Ellos tienen la tarea de promover el cambio cultural.

El componente MÉTODOS se requiere para un control efectivo de la Seguridad y la Protección Ambiental y para organizar los trabajos y la operación de las instalaciones.

El componente INSTALACIONES define el vehículo físico para cumplir la misión de PEMEX. Por lo tanto, las instalaciones deberán diseñarse y construirse para operar en la manera más segura y protegiendo el entorno en que están emplazadas.

Pero esto no salió de la nada, fue necesario estudiar, de empresas petroleras importantes como lo son 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, adaptándose a las necesidades de esta empresa mexicana.

El SIASPA, en comparación con los sistemas de seguridad de empresas internacionales mencionadas con anterioridad, es similar en algunos aspectos y éste ayudará a que se cumpla con las normas internacionales (tabla 2). Con el fin de cumplir el Análisis de riesgos y la administración del cambio, puntos importantes para el SIASPA, PEMEX en conjunto con la Facultad de Química de la UNAM llevó a cabo el proyecto denominado "Análisis de riesgos en la planta de servicios auxiliares de la refinería Héctor R. Lara Sosa" en Cadereyta Jiménez, Nuevo León. Para llevar a cabo dicho proyecto se asignó personal especializado en análisis de riesgos de la UNAM, así como personal de PEMEX que labora en el área de estudio de la misma refinería.



PETROLEOS MEXICANOS	SHELL	BRITISH PETROLEUM USA	EXXON	CONOCO
SIASPA ³	SEMP	OIAS	OIMS	SHEA
SISTEMA INTEGRAL DE ADMINISTRACIÓN DE LA SEGURIDAD Y LA PROTECCIÓN AMBIENTAL	SAFETY AND ENVIROMENTAL MANAGEMENT PROGRAM	OPERATIONAL INTEGRITY ASSURANCE SYSTEM	OPERATIONS INTEGRITY MANAGEMENT SYSTEM	SAFETY, HEALTH AND ENVIRONMENTAL ADMINISTRATION
<ol style="list-style-type: none"> 1. Política, liderazgo y compromiso 2. Organización 3. Capacitación 4. Salud ocupacional 5. Análisis y difusión de incidentes, buenas practicas 6. Control de contratistas 7. Relaciones publicas 8. Planeación y presupuesto 9. Normatividad 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 emergencia 17. Integridad mecánica 18. Control y restauración 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aspectos generales, información ambiental y de seguridad 2. Análisis de riesgos 3. Dirección del cambio 4. Procedimientos de operación 5. Practicas de trabajo seguro 6. Entrenamiento 7. Garantía de la calidad e integridad mecánica 8. Examen del pre-arranque 9. Control y respuesta a emergencias 10. Investigación de incidentes 11. Auditoria y revisión del SEM 	<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 admón. de riesgos 3. Diseño y construcción de instalaciones, documentación e información 4. Personal y entrenamiento, operación y mantenimiento 5. Administración del cambio 6. Servicios de terceros 7. Análisis e investigación de incidentes 8. Concientización comunal y planes de emergencia 9. Valuación y mejoramiento de la integridad de las operaciones 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Visión 2. Liderazgo y compromiso 3. Política, objetivos y metas 4. Planeación estratégica 5. Organización y personal/Efecto s aspectos de evaluación 6. Valuación y manejo de riesgos 7. Programas y practicas de operación 8. Planes de emergencia, entrenamiento y competencia 9. Documentación 10. Monitoreo 11. Auditorias 12. Valuación de la dirección

TABLA 2. Compañías reconocidas en el ámbito internacional que cuentan con sistemas administrativos similares al SIASPA.⁴

³ Ibid., p.7.

⁴ Espinosa Aguirre Javier, tesis "Análisis de Riesgos en la Sección de Destilación Atmosférica de una Planta Primaria de la Refinería Miguel Hidalgo de Tula Hidalgo". México, UNAM, 2003.



Marco teórico.

CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



Capítulo I

MARCO TEÓRICO

No hay ninguna cosa que se haga sin ningún riesgo, nada puede hacerse 100% seguro. Las autoridades responsables de la Protección Ambiental (SEMARNAT, PROFEPA, etc.), Salud, Protección Civil, etc., deben saber más sobre los riesgos presentes en el área de la comunidad y las circunstancias que pueden llevarnos a un desastre.

La industria debe conocer sus productos, materias primas, subproductos y residuos, y los riesgos de éstos. En muchos lugares tanto las autoridades como la comunidad, así como la industria, están lejos de la necesidad de predecir y prevenir un accidente tecnológico. Esto se debe a que están separados por la falta de comunicación a pesar de que tienen el mismo interés: la seguridad.

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

El desarrollo de la sociedad está dando como resultado que varias empresas se aglomeren en un solo lugar, esto lleva al incremento del transporte de sustancias peligrosas que puedan dañar al ambiente y a los habitantes de una comunidad.

La demanda constante de mejorar la eficiencia y de aumentar la capacidad nos conduce a obtener en la industria, más equipo sofisticado y procesos peligrosos que implican la necesidad de mejorar el manejo de riesgos conjuntamente: Industria, autoridades y comunidad.

Por ejemplo, en la República Mexicana los estados con mayor concentración industrial como el Distrito Federal, Estado de México, Querétaro, Jalisco, Puebla, Veracruz y Monterrey, han sido algunas de las entidades 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.¹

A partir de 1982, la política ambiental mexicana comenzó a adquirir un enfoque integral y se reformó la Constitución para crear nuevas instituciones y precisar las bases jurídicas y administrativas de la política de protección ambiental. En este año fue creada la Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE), para garantizar el cumplimiento de las Leyes y reorientar la política ambiental del país y en este mismo año se promulgó la Ley Federal de Protección al Ambiente.

En 1987, se facultó al Congreso de la Unión para legislar en términos de la concurrencia a los tres órdenes de gobierno, en materia de protección al ambiente. Con base en esa reforma y con base en las leyes anteriores, en 1988 fue publicada la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LEEGEPA), misma que hasta la fecha, ha sido la base de la política ambiental del país. Esta ley 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.²

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.³

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.

¹ Zepeda Ramos Oscar, **"Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México"**, <http://www.cenapred.com/>

² <http://www.semarnat.gob.mx/>

³ Espinosa Ortiz S. Enrique, **"Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Subprocuraduría de Auditoría Ambiental"**, México, Abril de 2002. <http://www.profepa.gob.mx/saa/audita27.htm>



Debido a la seriedad de estos problemas de la salud y la seguridad y debido a que muchos empleadores y empleados saben poco o nada sobre los mismos, la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) ha establecido una norma denominada "Información sobre Riesgos". Su propósito principal es el de asegurar que los empleadores y empleados conozcan sobre los riesgos laborales y cómo protegerse contra estos. Esto habrá de reducir la incidencia de las enfermedades y lesiones causadas por los productos químicos.

Las normas internacionales del Instituto Americano del Petróleo (API) y de la Administración de la Seguridad de los Procesos (PSM), API RP 750 y PSM 29 CFR 1910.119 respectivamente, como parte integral de la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) de los Estado Unidos, 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 heridas al personal, daños a equipos, daños a la planta en general, daños al medio ambiente, etc.⁴

Con 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. Además se requiere de una estricta planificación, ejecución y documentación para asegurar su validez.

A. PETRÓLEO EN MÉXICO.⁵

El petróleo es una mezcla en la que coexisten en fase sólida, líquida y gas, compuestos denominados hidrocarburos, constituidos por átomos de carbono e hidrogeno y pequeñas proporciones de heterocompuestos con presencia de nitrógeno, azufre, oxigeno y algunos metales, ocurriendo en forma natural en depósitos de roca sedimentaria. Su color varía entre ámbar y negro. La palabra petróleo significa aceite de piedra.

La vida sin el petróleo no podría ser como la conocemos. Del crudo obtenemos gasolina y diesel para nuestros autos y autobuses, combustible para barcos y aviones. Lo usamos para generar electricidad, obtener energía calorífica para fábricas, hospitales y oficinas y diversos lubricantes para maquinaria y vehículos.

⁴ Sandler; Perdick; Mc Edowney; Leverenz. "**Making Process Safety of Sustaining Performance in the 21th Century**". <http://google.com>

⁵ <http://imp.com/>



La industria petroquímica usa productos derivados de él para hacer plásticos, fibras sintéticas, detergentes, medicinas, conservadores de alimentos, hules y agroquímicos.

El petróleo ha transformado la vida de las personas y la economía de las naciones. Su descubrimiento creó riqueza, modernidad, pueblos industriales prósperos y nuevos empleos, motivando el crecimiento de las industrias mencionadas.

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 hidrotratamiento 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 hidrotratamiento o reducción de viscosidad para generar combustóleo.

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 el *Maya* solo 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 3.



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 3. 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.

B. REFINACIÓN EN PEMEX.

Las funciones básicas de PEMEX Refinación son los procesos industriales de refinación, elaboración de productos petrolíferos y derivados del petróleo, su distribución, almacenamiento y venta de primera mano. La subdirección comercial de PEMEX Refinación realiza la planeación, administración y control de la red comercial, así como la suscripción de contratos con inversionistas privados mexicanos para el establecimiento y operación de las Estaciones de Servicio integrantes de la Franquicia PEMEX para atender el mercado al menudeo de combustibles automotores.

Una refinería es un enorme complejo donde ese petróleo crudo se somete en primer lugar a un proceso de destilación o separación física y luego a procesos químicos que permiten extraerle buena parte de la gran variedad de componentes que contiene. El petróleo tiene una gran variedad de compuestos, al punto que de él se pueden obtener por encima de los 2,000 productos.

El petróleo se puede igualmente clasificar en cuatro categorías: parafínico, nafténico, asfáltico o mixto y aromático. Los productos que se sacan del proceso de refinación se llaman derivados y los hay de dos tipos: los combustibles, como la gasolina y el ACPM; y los petroquímicos, tales como polietileno y el benceno.

Las refinerías son muy distintas unas de otras, según las tecnologías y los esquemas de proceso que se utilicen, así como su capacidad. Las hay para procesar petróleos suaves, petróleos pesados o mezclas de ambos. Por consiguiente, los productos que se obtienen varían



de una a otra. La refinación se cumple en varias etapas. Por esto una refinería tiene numerosas torres, unidades, equipos y tuberías. Es algo así como una ciudad de plantas de proceso.

El principal producto que sale de la refinación del petróleo es la gasolina motor. El volumen de gasolina que cada refinería obtiene es el resultado del esquema que utilice. En promedio, por cada barril de petróleo que entra a una refinería se obtiene 40 y 50 por ciento de gasolina.

El gas natural rico en gases petroquímicos también se puede procesar en las refinerías para obtener diversos productos de uso en la industria petroquímica.

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

Esta es la etapa donde hacer una estimación correcta de las medidas de control protector es de mayor importancia, 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 de bajo 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 riesgos del material dominante presente son mayores cuando el material es un líquido inflamable, pero también son significantes con gases y vapores inflamables.

Algunos de los eventos que pueden generar riesgos por las altas temperaturas son:

- ◆ Cuando un líquido o sólido inflamable este arriba de su punto de evaporación súbita o punto de ebullición según sea el caso.
- ◆ 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.

◆ **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 caída 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 y recubiertos.) los efectos del resquebrajamiento en los agujeros para espigas, uniones con cemento y soldaduras contaminadas, 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.

C. CONCEPTOS BÁSICOS.

Los estudios de análisis de riesgo (EAR) y los programas de gerencia de riesgo (PGR) se convirtieron en herramientas de gran importancia para la prevención de accidentes industriales que pudieran afectar el ambiente y en otras actividades en que se manipulan sustancias peligrosas. Todo esto propicia los subsidios necesarios para el conocimiento detallado de las posibles fallas que pueden conducir a un accidente, así como las consecuencias posibles de estos eventos, posibilitando la implementación de medidas para la reducción de riesgos y para la elaboración de planes de emergencia para la respuesta a los accidentes.

Con lo anterior, 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?

1. RIESGO Y PELIGRO.⁶

La palabra **riesgo** suele utilizarse para indicar la posibilidad de sufrir pérdidas, o como una medida de pérdida económica o daño a las personas, expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias. Corresponde en inglés al término Risk.

$$R = f(f,C) \quad (1)$$

El riesgo está siempre asociado a la factibilidad de que ocurra un evento no deseado. Por ello, debe entenderse que el peligro es una propiedad intrínseca de una situación (persona u

⁶ España, Fundación MAPFRE. 1994, p.5.



objeto) y que no puede controlarse o reducirse. Por otro lado, el riesgo siempre puede ser gerenciado, actuando en la frecuencia de ocurrencia, en las consecuencias o en ambas. De esta forma, se puede expresar el riesgo como una función de esos factores, conforme a lo presentado en la ecuación (1).

Siendo:

R = riesgo.

f = frecuencia de ocurrencia.

C = consecuencias (pérdidas y/o daños).

La identificación, evaluación y jerarquización de los objetos de riesgo harán más visibles los peligros y así, más efectiva la protección a las personas, las propiedades y al medio ambiente. En lo anterior, hay dos aspectos sobre el significado del término "RIESGO":

- ◆ La **probabilidad** de que ocurra un accidente en cierto tiempo.
- ◆ Las **consecuencias** sufridas en el ambiente, las personas y propiedades.

Un riesgo no se puede medir exactamente con precisión, pero si puede ser estimado con suficiente aproximación. A partir de la definición de riesgo, se establecen dos tipos principales de riesgo:

El **riesgo de seguridad** que consiste en determinar la probabilidad que se produzca un riesgo mecánico, eléctrico o químico (incendio, explosión, liberación de una sustancia toxica) 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.



Por su parte, utilizamos la palabra **peligro** (hazard) para designar una condición física o química que puede causar daños a las personas, el medio ambiente o la propiedad. Así, con frecuencia se habla de que existe un peligro elevado, cuando en la realidad se quiere decir que el nivel de riesgo es alto.

2. ACCIDENTE.

Cualquiera de los accidentes reseñados en la tabla 1 cae dentro de la categoría de accidentes mayores. Por **accidente** también entendemos cualquier acontecimiento que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema. Más específicamente cualquier suceso, tal como una emisión, fuga, vertido, incendio o explosión, que sea consecuencia de un desarrollo controlado de una actividad industrial, que suponga una situación de grave riesgo, catástrofe o calamidad pública, inmediata o diferida, para las personas, el medio ambiente y los bienes, ya sea en el interior o en el exterior de las instalaciones, y en el que estén implicadas unas o varias sustancias peligrosas.

El que la lesión se produzca con ocasión o a consecuencia del trabajo, se entiende de forma amplia y no hace falta que su causa sea laboral en sentido estricto, englobando las que se produzcan durante actividades marginales también relacionadas con el trabajo, como cursos de perfeccionamiento promocionados por la empresa. Dentro de esta categoría laboral se tipifica el de accidente in itinere, cuando el trabajador lo sufre al ir o al volver del centro de trabajo. La importancia de calificar como laboral un accidente reside en el tratamiento privilegiado que reciben éstos en el marco de la Seguridad Social, fundamentado en la necesidad de protección de los riesgos del trabajo y en la compensación para quienes soportan consecuencias negativas para su salud.⁷

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

⁷ Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001, "**Accidente**", Microsoft Corporation © 1993-2000.



relacionadas con la exposición. Las sustancias involucradas en un accidente pueden agruparse de acuerdo a sí 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.

D. ANÁLISIS DE RIESGOS.

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. En el presente trabajo la palabra riesgo, 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.

Para ello (la identificación del peligro) 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.

La importancia de poder identificar los riesgos y en consecuencia su cuantificación, permite tener un mejor control del proceso, así como de los accidentes mayores. El poder definir los riesgos principales ayuda a jerarquizar y tener una atención prioritaria de medidas de seguridad con el objetivo de mitigar peligros potenciales.

El elaborar una lista de los riesgos de accidentes mayores, es el punto de partida para el establecimiento de un programa tanto de seguridad como de control adecuado del proceso de producción.



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 emisora, determinados por la NOM-018-STPS-200 (Sistemas para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo) 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.

1. ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA INDUSTRIA PETROLERA.

El análisis de riesgos en la industria petrolera es muy importante, ya que para las reaseguradoras es un requisito indispensable que deben cumplir las refinerías.

En el mundo, la industria petrolera ha tenido que modernizar sus plantas con tecnología de punta, ya que todos los procesos tienen sus riesgos, unos mayores y otros menores.

El análisis de riesgos en la industria petrolera consiste en la identificación, análisis y evaluación sistemática de los riesgos asociados a los factores externos e internos, con la finalidad de controlar y/o minimizar las consecuencias en las refinerías, tanto personal, ambiental y de producción.

Se puede aplicar durante el diseño, en la operación o en cualquier modificación. Consta de cuatro partes: la identificación de las fallas potenciales, la cuantificación de su probabilidad de ocurrencia en un lapso de tiempo determinado, el análisis de sus consecuencias y por ultimo, la estimación del riesgo como producto de la frecuencia por la gravedad de las consecuencias.

2. ETAPAS PARA ELEBORAR UN ANÁLISIS DE PELIGROS Y RIESGOS POTENCIALES.

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.⁸ A continuación se describe cada etapa:

1. **Identificar los peligros:** Mediante la experiencia que se tenga de un proceso determinado, se pueden cuestionar todas las circunstancias que da 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.

En el Apéndice A figura 13 se muestra un esquema general de las etapas de un estudio de Análisis de Riesgos.

⁸ España, Fundación MAPFRE. 1994, p.12.



3. ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS Y SUS ETAPAS.⁹

La administración de riesgos tiene como función la realización del análisis de riesgos, ya que es un conjunto de procedimientos para evaluar, analizar, identificar y controlar los efectos adversos de los riesgos a que esta expuesta la empresa, para evitar, reducir, retener o transferir dichos riesgos. Para llevar a cabo una buena administración de riesgos, se deben de seguir paso a paso las siguientes etapas:

Planeación: Requiere de la consideración de todos aquellos factores que pueden afectar el buen funcionamiento de la organización.

Organización: Se distingue cada riesgo y se analizan las probabilidades de ocurrencia bajo distintos escenarios.

Integración: Es la parte donde se acumulan todos los recursos, orientados con base a las fuerzas y debilidades, así como la cuantificación del impacto que estos tengan.

Dirección: Una vez identificados, analizados y cuantificados se necesita la elaboración de programas y propuestas para el establecimiento de planes de acción y recursos que puedan prevenir los riesgos identificados.

Control: Se establecen los programas de revisión y seguimiento para evitar que existan factores que provoquen nuevamente el riesgo.

Objetivos de la administración de riesgos.

Tiene como objetivo la óptima aplicación de los recursos para minimizar los efectos económicos que origina un riesgo.

El desarrollo científico-técnico ha traído como consecuencias el desarrollo de métodos que permitan hacer una evaluación y un análisis de riesgo con la mayor confiabilidad con el que pueda ser realizado. Cuando se planea, diseñan, modifican y operan instalaciones, se debe de garantizar que los riesgos estén clasificados e identificados.

⁹ Enriquez Rubio Armando, "Práctica de la Administración de Riesgos y Seguros para Empresas Industriales en México 2003", México, 2003. <http://www.riskmexico.com/cgi/inicio.asp>



Se debe de garantizar que la estructura operativa de la instalación esta hecha de tal forma que permita la operación segura de la instalación en todo momento. La administración es la que se encarga de tomar las medidas necesarias para garantizar la seguridad de la planta, dando la capacitación necesaria al personal de operación de los riesgos a los cuales esta expuesto, esto con el fin de hacer conciencia en los propios trabajadores y así reducir los riesgos por error humano.

Cuando se planea, diseña y modifican instalaciones y procesos se deben de garantizar las técnicas críticas de evaluación, tales como análisis de riesgos, estudios de riesgo y operabilidad HazOp, árbol de fallas y análisis de árbol de eventos, estas serán utilizadas para que los peligros sean identificados y clasificados tan pronto como sea necesario en las diversas etapas del proyecto, incluyendo la etapa de investigación. Estos estudios deben de tener en cuenta los eventos extremos anormales tales como fallas de energía, terremotos y condiciones extremas del clima así como peligros del proceso.

Técnicas como evaluación cuantitativa de riesgos, pueden dar un parámetro para toma de decisiones en aspectos de seguridad. Esta evaluación permite una relativa clasificación de los riegos y da una ayuda para determinar las medidas preventivas adecuadas.

Las medidas de seguridad deben tomar en cuenta la posibilidad de los errores técnicos y humanos para hacer cumplir los procedimientos de seguridad adecuadamente.

Los programas de mantenimiento deben ser revisados estricta y periódicamente para garantizar una mayor seguridad, además, se deben de mantener registros de cualquier falla encontrada durante el mantenimiento del equipo, tuberías etc., de lo contrario, se podría afectar la seguridad del personal de operación.

4. 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:



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.

ASPECTOS FISIAGRÁFICOS.

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

CARACTERÍSTICAS METEOROLÓGICAS.

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

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.

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 13 del Apéndice A se muestran las etapas de un estudio de análisis de riesgos.

5. ESTIMACIÓN DE FRECUENCIAS.

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 deseados causados por terceros o por agentes externos al sistema en estudio, incluyéndose los fenómenos naturales.

6. ESTIMACIÓN DE RIESGOS Y DE LAS CONSECUENCIAS.

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.

Tomando como base las hipótesis de accidentes identificadas en la etapa anterior, cada una de éstas debe ser estudiada en cuanto a sus posibles consecuencias, además de medir 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.

7. TOMA DE DECISIONES EN MATERIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL.¹⁰

Ya se ha indicado que ante un riesgo determinado no cabe más que aceptarlo en su nivel actual o tratar de reducirlo. En todo caso la decisión implica realizar una estimación de la magnitud de las consecuencias que pueden derivarse de un accidente y de la verosimilitud del mismo, así como el costo de las posibles medidas correctoras. Algunos de los aspectos en los que el análisis de riesgos puede resultar especialmente se muestran en la figura 1.

El análisis de riesgos permite justificar las decisiones tomadas. No basta con que una decisión sea correcta, sino que debe en lo posible ser atendida como tal por los distintos estamentos afectados.

8. NORMATIVIDAD Y SEGURIDAD INDUSTRIAL EN PEMEX.¹¹

Dado el crecimiento significativo de las plantas químicas se deben de tomar en cuenta todas las medidas necesarias para evitar algún riesgo.

La forma en que se puede realizar un mejor control y seguimiento de los accidentes ocurridos en los diferentes tipos de instalaciones es recuperar y registrar la información. En base a esta necesidad, el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED), integró un documento que se refiere a los accidentes químicos ocurridos en la República. Existen tres clases de normas:

¹⁰ España, Fundación MAPFRE. 1994, p.18.

¹¹ “**Petróleos Mexicanos-Informes**”, Informe Seguridad, Salud y Medio Ambiente. Índice de accidentes 1996-2001. México, Abril 2002. http://www.pemex.com/seguridad_ind_p1.html



- ◆ Normas nacionales.- son elaboradas, sometidas a un periodo de información pública y sancionadas por un organismo reconocido legalmente para desarrollar actividades de normalización en un ámbito nacional.
- ◆ Normas regionales.
- ◆ Normas internacionales.

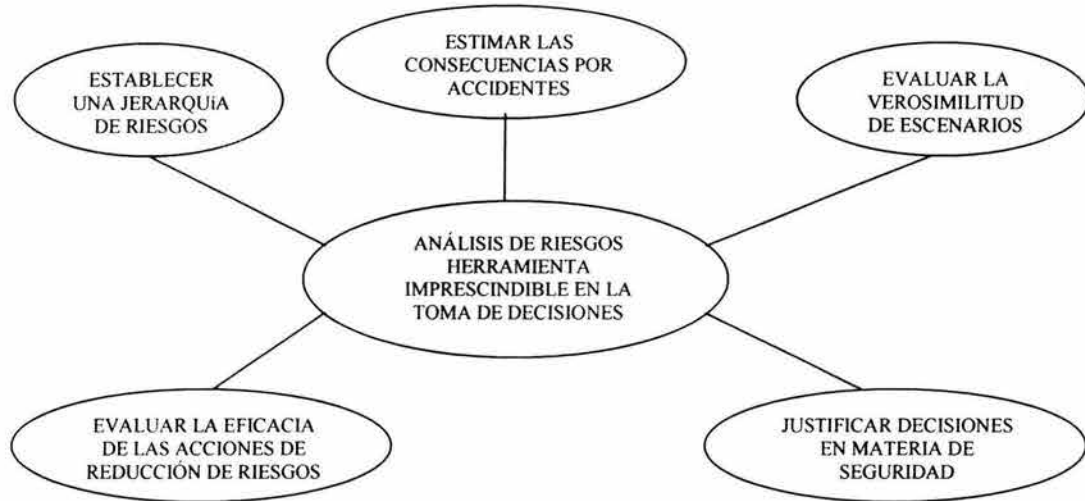


Figura 1. Utilidad del análisis de riesgos en la toma de decisiones.

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.

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.

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. En el Apéndice A. figura 12 del presente trabajo se muestra el índice de accidentes de PEMEX en los últimos años.



E. TÉCNICAS PARA EFECTUAR EL ANÁLISIS DE RIESGOS.

1. METODOLOGÍAS.

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

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

Y dado que, en un análisis de riesgos la etapa más importante es la identificación de ellos, ya que si alguna causa no es identificada, no se podrán prevenir las situaciones de peligro que puedan derivar de la misma; se recomienda emplear solo la(s) metodología(s) -de la gran variedad que existen de ellas- que permitan cubrir de manera más amplia el objetivo propuesto, obtener mejores resultados y optimizar el análisis. Por esta razón, es importante tener un conocimiento general de los requisitos y beneficios que cada metodología ofrece. Las metodologías de acuerdo con el tipo de resultados que generan, pueden ser (ver tabla 4):

MÉTODOS COMPARATIVOS
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Códigos y estándares. ◆ Listas de verificación (check list). ◆ Análisis histórico de accidentes.
ÍNDICES DE RIESGO.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Índice Dow. ◆ Índice Mond.
MÉTODOS GENERALIZADOS.
<ul style="list-style-type: none"> ◆ Análisis de modos de falla y efectos (FMEA). ◆ Análisis del modo, efecto y criticidad de los fallos (FMECA). ◆ Análisis What if...?, (Qué pasa sí...?). ◆ Análisis de árbol de sucesos (ETA). ◆ Análisis de árbol de fallos (FTA). ◆ Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp). ◆ Análisis de consecuencias (AC).

Tabla 4. Métodos de identificación de riesgos.



Cualitativos. Identifican los peligros existentes dentro del sistema, analizan las causas y consecuencias de forma cualitativa (HazOp, What if...? (¿Qué pasa si...?), Índices Dow y Mond, Lista de Verificación).

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, HazOp, análisis de consecuencias de incendios y explosiones.¹²

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 What if...? (¿Qué pasa si...?), AAF, AAE, HazOp.

2. OBJETIVO Y ALCANCE DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.

Para realizar un análisis de riesgos, que es el objetivo de esta tesis 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.

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.

¹² España, Fundación MAPFRE. 1994, p.26.



3. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

Esta etapa tiene por objetivo identificar los posibles eventos no deseados que pueden conducir a la evidencia de un peligro a fin de definirse 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:

- ◆ Lista de verificación (check list);
- ◆ Análisis What if...? (¿Qué pasa si...?);
- ◆ Análisis preliminar de riesgos (APR);
- ◆ Análisis de modos de fallas y efectos (FMEA);
- ◆ Estudio de peligros y operabilidad (HazOp - Hazard and Operability Study).

APLICACIÓN	CHECKLIST	WHAT IF..?	APR	AMFE	HAZOP
Identificación de desvíos con relación a las buenas prácticas			✓	✓	✓
Identificación de peligros genéricos		✓		✓	✓
Identificación de las causas básicas (eventos iniciales)	✓		✓		
Propuesta de medidas para mitigar los riesgos	✓	✓		✓	

Tabla 5. Técnicas para la identificación de peligros y sus principales aplicaciones.

a. CÓDIGOS Y NORMAS DE SEGURIDAD.¹³

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, se encuentran:

- ◆ **OSHA (Occupational Safety and Health Administration).**

EJEMPLO: PSM (29 CFR 1910-119) regula la administración de la seguridad del proceso (PSM) de químicos altamente peligrosos.

¹³ España, Fundación MAPFRE. 1994, p.491.



◆ **API (American Petroleum Institute).**

EJEMPLO: API 2001 "Protecciones contra incendios en refinerías" (Design and Installation of pressure relief systems refineries).

◆ **ASME (American Society of Mechanical Engineers).**

EJEMPLO: Código ASME para calentadores y recipientes a presión (Boiler and Pressure Vessel Code).

◆ **NFPA (National Fire Protection Association).**

EJEMPLO: NFPA 49. Datos de sustancias químicas peligrosas (Hazardous Chemical Data).

◆ **ISO (International organization for Standardization).**

EJEMPLO: ISO 9003. "Modelo Para el Aseguramiento de la Calidad en Inspección y Pruebas Finales".

En el ámbito nacional existen normas y leyes como:

◆ **NOM (Normas Oficiales Mexicanas).**

EJEMPLO: NOM-086-ECOL-1994. Que indica que se debe regular la calidad de los combustibles para el servicio automotriz, domestico e industrial.

◆ **LEEGEPA (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente).**

EJEMPLO: Art. 15º. Formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley.

b. ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES.¹⁴

Consiste en estudiar los accidentes registrados en el pasado en plantas similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza.

Se basa en informaciones de procedencia diversa:

- ◆ Bibliografía especializada (publicaciones periódicas y libros de consulta).
- ◆ Bancos de datos de accidentes informatizados (Ver tabla 6).

¹⁴ "Guía técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos",
http://server.proteccioncivil.org/centrodoc/guiatec/Metodos_cualitativos/cuali_212.htm, México.



- ◆ Registro de accidentes de la propia empresa, de asociaciones empresariales o de las autoridades competentes.
- ◆ Informes o peritajes realizados normalmente sobre los accidentes más importantes.

Algunos factores que se deben considerar al plantear y desarrollar un análisis histórico de accidentes son:

- ◆ Determinar la definición de accidentes a analizar:
- ◆ Tipo de accidentes a ser estudiados (productos, instalaciones).

Identificación exacta del accidente:

- ◆ Lugar.
- ◆ Fecha y hora.
- ◆ Productos implicados.
- ◆ Instalación o equipos implicados.

Identificación de las causas de los accidentes:

- ◆ Errores humanos.
- ◆ Falla de equipos.
- ◆ Falla de diseño o de proceso.

Identificación del alcance de los daños causados:

- ◆ Pérdida de vidas.
- ◆ Heridos.
- ◆ Daños al medio ambiente.
- ◆ Pérdidas en instalaciones y daños materiales.
- ◆ Evacuación de personas, otras medidas, etc.
- ◆ Impacto en la población en general.
- ◆ Descripción y valoración de las medidas aplicadas y, si es posible, de las estudiadas para evitar la repetición del accidente.



Entre los principales bancos de datos de accidentes industriales se pueden citar: OSIRIS-1, OSIRIS-2, FACTS, MHIDAS (Major Hazards Incident Data Service) y el banco de datos desarrollados por el Centro de Investigación de la CEE de ISPRA: MARS (Major Accident Reporting System). En principio, todos ellos recogen los accidentes ocurridos en cualquier país del mundo, si bien cada banco ofrece normalmente mayor número de accidentes sobre su propio país, por la lógica mayor facilidad en cuanto a obtención de datos. Sus características se reseñan en la tabla 6.

c. ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS.

Bajo el nombre inglés de preliminary hazard analysis (PHA) este método fue desarrollado inicialmente por las Fuerzas Armadas de los Estados Unidos de América e incorporado posteriormente bajo diferentes nombres por algunas compañías químicas.

El análisis preliminar de riesgos (**APR en adelante**) fue el precursor de otros métodos de análisis más complejos y es utilizado únicamente en la fase de desarrollo de las instalaciones y para casos en los que no existen experiencias anteriores, sea del proceso, sea del tipo de implantación. El APR selecciona los productos peligrosos y los equipos principales de la planta.

El APR se puede considerar como una revisión de los puntos en los que pueda ser liberada energía de una forma incontrolada.

Fundamentalmente, consiste en formular una lista de estos puntos con los peligros ligados a:

- ◆ Materias primas, productos intermedios o finales y su reactividad. Equipos de planta.
- ◆ Límites entre componentes de los sistemas.
- ◆ Entorno de los procesos.
- ◆ Operaciones (pruebas, mantenimiento, puesta en marcha, paradas, etc.).
- ◆ Instalaciones.
- ◆ Equipos de seguridad.

Los resultados de este análisis incluyen recomendaciones para reducir o eliminar estos peligros. Estos resultados son siempre cualitativos, sin ningún tipo de priorización.



BANCO DE ACCIDENTES	NÚMERO DE CASOS REGISTRADOS PERÍODO	ACCIDENTES	PROCEDENCIA DE LOS DATOS	OBSERVACIONES
OSIRIS 1	3,000 (1975-1990).	Con sustancias peligrosas; Incluye transporte e instalaciones.	General.	Pais: Italia. Consulta y respuesta por fax o disquete magnético. Idioma: Ingles.
OSIRIS 2	2,500 (1977-1992).	Con hidrocarburos.	Oi Sill Intelligence Report, que recopila todos los casos ocurridos en el mundo.	Pais: Italia. Idem. Actualizado anualmente.
MIDAS	5,330 (de forma continua desde 1985; recopilación de datos desde 1966 y algunos importantes a la fecha).	Con sustancias peligrosas; Incluye almacenamiento, transporte y proceso, principalmente para instalaciones químicas y petroquímicas. No contempla accidentes en plataformas petrolíferas minas o con productos nucleares.	Fuentes públicas generales.	Pais: Reino Unido. Obtención de los datos 1. Por contacto directo. 2. Por consulta on line. 3. CD-Rom. Idioma: Ingles.
FACTS	15,000 (creado en 1980, contiene datos desde 1930, aunque la mayoría corresponde al periodo 1960-1993).	Con sustancias peligrosas; Incluye almacenamiento, transporte, carga / descarga, proceso y uso.	Fuentes públicas generales, investigaciones propias, informes técnicos procedentes de compañías privadas u organismos estatales.	Pais: Holanda. Consulta on line, disponible en disquete de PC. Anualmente actualizado. Idioma: Ingles.
SONATA	2500 (un 94% corresponde al periodo 1960-1980 un 5% al periodo 1930-1960 y el resto (1%) a accidentes anteriores a 1930).	Idem.	Fuentes públicas.	Pais: Italia. Ha dejado de actualizarse. Idioma: Ingles.
MARS	167 (1984 a la actualidad)	Idem.	Información pública sobre los accidentes en instalaciones de los países de la comunidad afectados por la directiva Seveso.	Banco de datos de los accidentes notificados a la comisión de la CEE para la aplicación de la directiva Seveso. En 1991 se publica un informe sobre las enseñanzas adquiridas en estos accidentes. Actualmente en proceso de actualización y cubriendo 121 casos. Idioma: Ingles.

Tabla 6. Método del análisis histórico. Banco de datos de accidentes.¹⁵

¹⁵ Idem.



d. REVISIÓN / INSPECCIÓN DE SEGURIDAD.¹⁶

Son técnicas analíticas previas al accidente mas conocidas y practicadas como medio para determinar peligros potenciales que puedan ocasionar perdidas a personas o a la propiedad.

Diferenciaremos 2 tipos de inspección:

- ◆ Informales o espontáneas, que pueden ser realizadas por el mando mientras efectúan sus actividades normales de operación.
- ◆ Inspecciones planificadas, que seran generales o de partes críticas. Las primeras pueden abarcar la totalidad de dependencias o estar referidas a departamentos y servicios concretos.

La finalidad principal es verificar que las instalaciones, en operación y mantenimiento siguen las normas establecidas. Estas revisiones de seguridad deben entenderse siempre como un complemento de las inspecciones rutinarias y deben partir siempre de un espíritu de colaboración para conseguir la operación de la planta en las mejores condiciones posibles de seguridad.

La labor incluye el desarrollo de entrevistas con personas de todo nivel: operadores de planta, mantenimiento, ingeniería, seguridad, gerencia, dirección general. Ello permite contemplar las situaciones desde diferentes y a veces contrastantes puntos de vista.

Generalmente, como instrumentos de apoyo de la labor realizada, pueden utilizarse métodos tales como listas de verificación, partes del método What If...? (¿Qué pasa si...?) y otras.

El resultado de estas inspecciones son recomendaciones para mejorar las deficiencias observadas.

e. ANÁLISIS DEL MODO Y EFECTO DE LAS FALLAS (FMEA).

Corresponde al acrónimo anglosajón del Failure Mode and Effects Analysis. Una descripción de una aplicación completa del método se incluye en el artículo de King y Rudd publicado en el AIChE J. (American Institute of Chemical Engineers Journal) en 1971.

¹⁶ Rodellar Lisa Adolfo, "Seguridad e higiene en el trabajo.", Marcombo Boixareu editores, Barcelona España, 1988, p.39.



Este método consiste en la tabulación de los equipos y sistemas de una planta química, estableciendo las diferentes posibilidades de falla y las diversas influencias (efectos) de cada una de ellas en el conjunto del sistema o de la planta.

Las fallas que se consideran son, típicamente, las situaciones de anormalidad tales como:

- ◆ Abierto cuando normalmente deba estar cerrado.
- ◆ Cerrado cuando normalmente deba estar abierto.
- ◆ Marcha cuando normalmente deba estar parado.
- ◆ Paro cuando normalmente deba estar en marcha.
- ◆ Fugas cuando normalmente deba ser estanco.
- ◆ Otros.

Los efectos son el resultado de la consideración de cada una de las fallas identificadas individualmente sobre el conjunto de los sistemas o de la planta.

El método FMEA establece finalmente, qué fallas individuales pueden afectar directamente o contribuir de una forma destacada al desarrollo de accidentes de una cierta importancia en la planta.

Este método no considera los errores humanos directamente, sino su consecuencia inmediata de mala operación o situación de un componente o sistema. Tampoco establece las diferentes combinaciones de fallas de equipos o secuencias de los mismos que pueden llegar a provocar un accidente final de mayores consecuencias.

El FMEA es un método cualitativo que establece una lista de fallos, sistemática, con sus consiguientes efectos y puede ser de fácil aplicación para cambios en el diseño o modificaciones de planta. Puede ser utilizado en las etapas de diseño, construcción y operación.

En la etapa de diseño es útil para la identificación de protecciones adicionales, que puedan ser fácilmente incorporadas para la mejora de equipos y sistemas.

En la etapa de construcción puede ser utilizado para una evaluación de modificaciones que puedan surgir por cambios inducidos en campo.



En período de operación el FMEA es útil para la evaluación de fallas individuales que puedan inducir a accidentes potenciales.

Su uso puede ser, con limitaciones, alternativo a un HazOp, aunque encuentre su mayor aplicación como fase previa a la elaboración de árboles de fallas, ya que permite un buen conocimiento de los sistemas.

f. ANÁLISIS DEL MODO, EFECTO Y CRITICIDAD DE LAS FALLAS (FMECA).

Para no caer en reiteraciones, se referirá este método en relación con el FMEA comentado en el apartado anterior (e.) de este trabajo. La diferencia fundamental en relación con el FMEA es que el FMECA, además de establecer una relación entre los diferentes modos de falla de un equipo o sistema y las consecuencias de cada una de ellas, añade a esta consideración el establecimiento de la criticidad de cada uno de estas fallas. Es decir, establece un orden relativo de importancia de las fallas en función de las consecuencias de cada uno de ellas. A título de ejemplo se puede citar, para un caso hipotético:

EFECTO	CRITICIDAD
Ninguno	1
Peligro menor para las personas y las instalaciones. No se requiere parada de proceso.	2
Peligros para las personas y las instalaciones. Se requiere parada programada del proceso.	3
Peligro inmediato para las personas y las instalaciones. Se requiere parada de emergencia.	4

Cada una de las fallas y sus efectos son comparados bajo los conceptos básicos definidos en el apartado criticidad, y se ordenan en función de esta criticidad.

En el informe final, se destacan las fallas que pueden provocar efectos de criticidad absolutamente inaceptables. Las actuaciones prioritarias irán dirigidas a aportar soluciones frente a estas fallas.



g. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE SUCESOS (ETA).

Esta técnica parte de un suceso determinado e investiga mecanismos razonables mediante los cuales éste puede tener lugar. El análisis de árbol de sucesos (event tree analysis) evalúa las consecuencias que pueden tener lugar a partir de un suceso determinado.

Esta técnica es especialmente adecuada para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos tras un accidente. Es decir permite analizar los escenarios posibles y establecer entre ellos una jerarquía en cuanto a su gravedad y probabilidad, seleccionar situaciones de emergencia para evaluación cuantitativa y preparar respuestas a las mismas. El análisis de árbol de sucesos se lleva a cabo con el siguiente esquema:

- ◆ Identificación de sucesos iniciadores relevantes.
- ◆ Identificación de las funciones de seguridad diseñadas para responder al suceso iniciador.
- ◆ Construcción del árbol de sucesos.
- ◆ Descripción de las cadenas de acontecimientos resultantes.

h. ANÁLISIS DE ERROR HUMANO.

Es una evaluación sistemática de los factores que influyen en el comportamiento y desempeño de las personas del área de la planta. El propósito de este análisis es localizar áreas ó situaciones en las cuales la persona encargada está expuesta a tomar decisiones impropias que podrían conducir a un evento indeseable.

4. ÍNDICES DE RIESGOS.

Los índices de riesgos se utilizan para señalar las áreas de mayor concentración de riesgo. Dicha señalización se obtiene asignando puntos buenos con base en las medidas de seguridad con que se cuenta en la instalación para evitar o minimizar un accidente. De igual modo se acreditan puntos malos (penalizaciones), tomando en consideración las condiciones que se presenten en la instalación; es decir, tomando en cuenta las condiciones de proceso y materiales utilizados en el mismo. Al combinarse los puntos malos con los buenos se obtiene la calificación final que proporciona el índice de riesgo.



Índice Dow / Mond de incendio y explosión.

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 y efectos dominó. 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 y protección contra incendios.

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 mas 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 y equipos de emergencia.

5. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS.

a. ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SÍ...?).¹⁷

La traducción literal de este nombre podría ser ¿Qué pasa sí...?; es un método de análisis que no es tan estructurado como otros (HazOp-*Hazard Operability Study* o FMEA-*Failure Mode Effects Análisis*), descritos en este trabajo, y necesita la adaptación por parte del usuario al caso particular que se pretende analizar.

¹⁷ Guía técnica, op. cit. supra, nota 14.



El análisis **What if...? (¿Que pasa sí...?)**. Sirve para determinar consecuencias no deseadas que se originan por un determinado evento. Con este análisis se pueden identificar los puntos de mayor riesgo mediante preguntas que involucren directamente el funcionamiento de los equipos y la operabilidad del proceso.

- **DESCRIPCIÓN.**

El método exige el planteamiento de las posibles desviaciones desde el diseño, construcción, modificaciones de operación de una determinada instalación.

Evidentemente, requiere un conocimiento básico del sistema y la disposición mental para combinar o sintetizar las desviaciones posibles ya comentadas, por lo que normalmente es necesaria la presencia de personal con amplia experiencia para poder llevarlo a cabo.

- **ÁMBITO DE APLICACIÓN.**

El método tiene un ámbito de aplicación amplio ya que depende del planteamiento de las preguntas que pueden ser relativas a cualquiera de las áreas que se proponga la investigación como: seguridad eléctrica, protección contra incendios y seguridad personal. Las preguntas se formulan en función de la experiencia previa y se aplican, tanto a proyectos de instalación, como a plantas en operación, siendo muy común su aplicación ante cambios propuestos en instalaciones existentes.

- **RECURSOS NECESARIOS.**

Normalmente las cuestiones se formulan por un equipo de dos o tres personas especialistas en las áreas apuntadas en el apartado anterior, los cuales necesitan documentación detallada de la planta, del proceso, de los procedimientos y posibles entrevistas con personal de operación.

El resultado del trabajo será un listado de posibles escenarios incidentales, sus consecuencias y las posibles soluciones para la reducción del riesgo.

- **SOPORTES INFORMÁTICOS.**

Normalmente no se utiliza un soporte informático en la aplicación de esta técnica.



- **VENTAJAS / DESVENTAJAS.**

Es un método menos estructurado que el HazOp y FMEA por lo que su aplicación es más sencilla, sin embargo su exhaustividad depende más del conocimiento y experiencia del personal que lo aplica.

- **ETAPAS DE UN ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SÍ...?).**

Normalmente el equipo de trabajo empieza sus preguntas en el comienzo del proceso y las prosigue a lo largo del mismo. En ocasiones el método puede centrarse en determinadas consecuencias específicas (seguridad personal, por ejemplo).

Se van anotando sucesivamente todas las preguntas, y respuestas, incluyendo peligros, consecuencias y soluciones. El estudio se contempla recopilando los comentarios de todos los equipos y revisando las recomendaciones por parte del nivel adecuado de gerencia.

Las etapas fundamentales de un análisis What If...? (¿Qué pasa sí...?) son:

- ◆ Definición del alcance del estudio.
- ◆ Recogida de la información necesaria.
- ◆ Definición de los equipos.
- ◆ Desarrollo de las cuestiones.
- ◆ Informe de resultados.

Las características básicas de cada etapa son las siguientes:

a) Definición del alcance del estudio.

Existen dos alcances básicos en un análisis What If...? (¿Qué pasa sí...?): las condiciones físicas del sistema investigado y la categoría de las consecuencias del mismo.

Debe definirse en primer lugar la categoría de las consecuencias (para el público, para los trabajadores de la planta o económicas), siendo que, a su vez, estas categorías pueden subdividirse en otras menores. Una vez definidas estas categorías, puede definirse el alcance físico del estudio, incluyendo posibles interacciones entre diferentes partes de la planta.



b) Recopilación de la información necesaria.

Es necesaria que toda la información requerida se encuentre disponible al inicio del trabajo para poder desarrollarlo sin interrupciones. Un resumen típico de la información requerida se muestra a continuación.

I. Diagramas de Flujo:

1. Condiciones de operación:

- ◆ Sustancias utilizadas, con características físicas.
- ◆ Química y termodinámica del proceso.

2. Descripción de los equipos.

II. Diagrama de Localización de Equipos (Plot Plan).

III. Diagramas de Tuberías e Instrumentación (P&ID):

1. Controles:

- ◆ Sistemas de control en continuo.
- ◆ Alarmas y sus funciones.

2. Instrumentación:

- ◆ Cuadros.
- ◆ Indicadores.
- ◆ Monitores.

IV. Operaciones:

1. Responsabilidades y obligaciones del personal.
2. Sistemas de comunicación.
3. Procedimientos:
 - ◆ Mantenimiento preventivo.
 - ◆ Permisos de trabajo en caliente.
 - ◆ Entradas en recipientes.
 - ◆ Emergencia.

La última parte de la recopilación de la información es la preparación de las preguntas. En este aspecto, otros métodos como las listas de verificación o check list y el HazOp pueden sugerir ideas para el desarrollo de las preguntas.



c) Definición del equipo de trabajo

Para cada área específica deben definirse equipos de dos o tres personas. Cada equipo debe poseer:

- ◆ Experiencia en las consecuencias a analizar.
- ◆ Conocimientos de la planta o el proceso.
- ◆ Experiencias en técnicas de evaluación de riesgos.

El equipo debe ser multidisciplinario e incluir puntos de vista de producción, fabricación, mantenimiento, ingeniería y seguridad.

d) Desarrollo del cuestionario.

La revisión empieza con una explicación básica del proceso, utilizando la información disponible de la planta, por parte del mejor conocedor del sistema.

Los equipos, no es necesario que trabajen aislados, sino que es conveniente que intercambien cuestiones para asegurar el buen camino del proceso. Es conveniente que trabajen en días alternos y con una dedicación diaria de cuatro a seis horas como máximo.

El equipo va formulando las preguntas desde el inicio del proceso y va respondiendo las mismas y, eventualmente, añadiendo nuevas cuestiones; y la finalidad es ir identificando los peligros, las posibles consecuencias y las soluciones.

b. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.¹⁸

El Análisis de Árbol de Fallas (FTA por sus siglas en inglés, Fault Tree Analysis) es una técnica cuantitativa de riesgos que nos proporciona la probabilidad o la frecuencia con que puede ocurrir un evento indeseable, que llamaremos evento culminante o escenario potencial de accidente.

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.

¹⁸ Idem.



El evento culminante se puede dar mediante la combinación de fallas de un equipo, de sus componentes o fallas del operador. La probabilidad o frecuencia del evento culminante se determina sumando las frecuencias o las probabilidades y multiplicando las probabilidades con probabilidades o las probabilidades con frecuencias pero nunca multiplicando las frecuencias con frecuencias.

Como una herramienta cuantitativa, el análisis de árbol de fallas (FTA) es muy usado porque reduce la posibilidad del evento culminante al determinar las fallas y errores que pudieran causar el evento culminante, además de como interactúan y como, de acuerdo a la probabilidad de cada uno de ellos, determinan la probabilidad de ocurrencia del evento culminante.

También, permite analizar los efectos de cambios o adición de componentes a un sistema, por ejemplo, la instalación de un sistema de alarmas de alto nivel o paro.

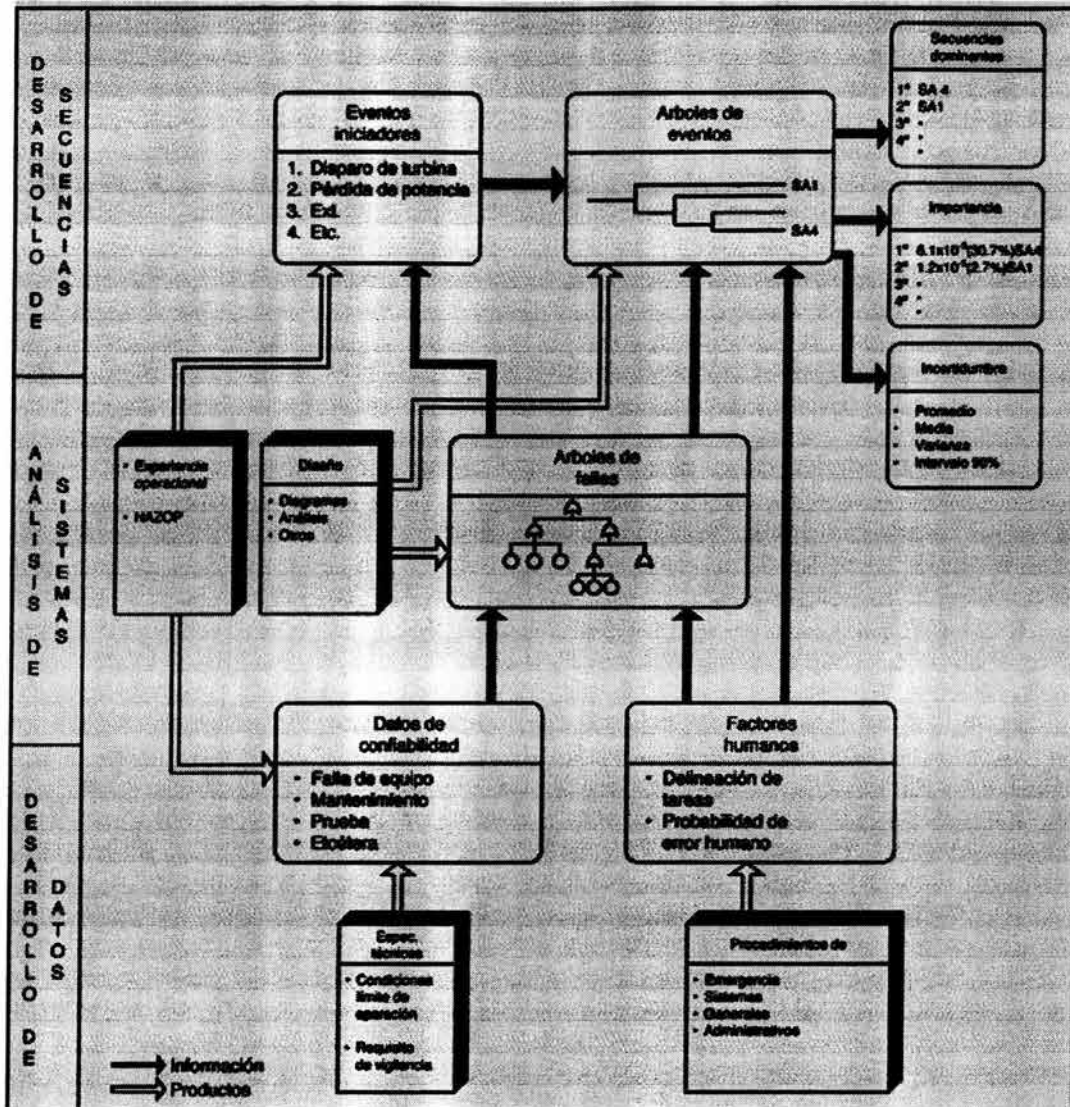


Figura.2. Uso de información y productos principales en FTA.

El FTA puede ser usado durante el diseño, modificación, operación o mantenimiento de instalaciones. Puede ser de especial utilidad en el análisis de procesos nuevos o desconocidos de los cuales no existe historia, pero existe base de datos confiable de otras instalaciones similares. Este análisis calcula la probabilidad de ocurrencia de un suceso culminante y es una de las técnicas más utilizadas en la industria química ya que puede aplicarse a un solo sistema o sistemas interconectados.



El análisis FTA usa compuertas lógicas de entrada y salida, que se representan por símbolos y por letras "Y" (que representa el producto) y "O" (que representa la suma); para mostrar la interacción de las fallas de los subsistemas para producir el evento culminante.

Los símbolos usados para las compuertas de entrada "Y" es un punto "●" de producto y "O" es el signo "+" de suma, para los eventos intermedios o de mando, para los eventos básicos o primarios (mal diseño, deterioro de equipo o línea durante el servicio) y para los eventos que ya no se desarrollan más, llamados secundarios (falla de equipo debido a perturbaciones excesivas en las condiciones de operación) se ilustran en la Tabla 7.

¿Cómo se construye un árbol de fallas?

El árbol de fallas se construye desde el evento culminante hacia abajo. Cuando el evento de entrada es la falla de un componente o equipo de un sistema se denomina "falla funcional" y se aceptan tres clases de eventos causantes, a través de una puerta "O", fallas primarias, fallas secundarias y fallas de mando.

Fallas primarias: Son aquellas que suceden cuando el componente es incapaz de realizar su función de diseño bajo condiciones normales de operación. Esto se debe a un diseño inadecuado, por defecto o deterioro durante su operación. Su símbolo es un círculo.

Fallas secundarias: Son las que ocurren por fuerzas ajenas al sistema por ejemplo, inundaciones, huracanes, tornados, terremotos, etc. Su símbolo es un rombo.

Fallas de mando: Ocurren cuando un componente o equipo falla debido a condiciones que rebasan los límites establecidos en la operación o de seguridad, por ejemplo falsas señales, cargas mecánicas, etc. Un árbol de fallas, generalmente, consiste de los siguientes pasos:



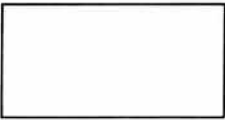
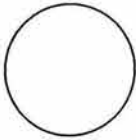
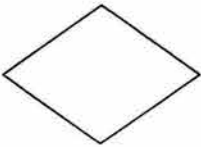



SÍMBOLO	APLICACIÓN
	Sucesos intermedios: Resultan de la interacción de otros sucesos que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas
	Sucesos básicos: Constituyen la base de la raíz del árbol. No se necesitan desarrollarse más.
	Sucesos no desarrollados. No son sucesos básicos, y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.
	Puertas O: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Puertas Y: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Transferencias: Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol en otra parte (por ejemplo, en otra página, por falta de espacio).

Tabla 7. Simbología para la elaboración de un árbol de fallas.

- ◆ Identificar el evento culminante de la falla del sistema que se desea estudiar.
- ◆ Procesar, a continuación el nivel inmediato inferior del sistema, por ejemplo, nivel de subsistemas e identificar las fallas de éstos que pueden llevar al evento culminante.

Determinar la interacción lógica entre los subsistemas que puedan causar el evento culminante.



- ◆ Proceder con el nivel inmediato inferior del sistema de acuerdo al segundo inciso hasta llegar a la identificación de los eventos base.
- ◆ Manejar la base de datos de presentación de los eventos base y procesarlos estadísticamente para obtener la probabilidad de que cada evento base se produzca y, aplicando "Teoría de Conjuntos", calcular de acuerdo a las compuertas lógicas "Y" (simultáneos y, por lo tanto, producto) y "O" (independientes y, por lo tanto, suma) ir determinando la probabilidad de que ocurran los eventos del nivel superior del Árbol hasta llegar a la probabilidad del evento culminante, ver figura 3.

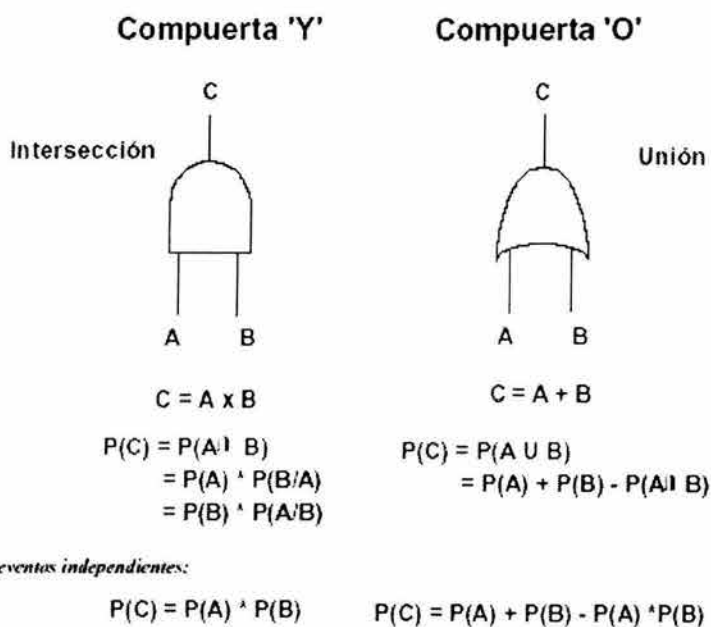


Figura 3. Compuertas lógicas.¹⁹

c. ANÁLISIS FUNCIONAL DE OPERATIVIDAD (HAZOP).²⁰

- DESCRIPCIÓN.

El método nació en 1963 en la compañía ICI (*Imperial Chemical Industries*), en una época en que se aplicaba en otras áreas las técnicas de análisis crítico. Estas técnicas consistían en un análisis sistematizado de un problema a través del planteamiento y respuestas a una serie de preguntas (¿Cómo?, ¿Cuándo?, ¿Por qué? y ¿Quién?). La aplicación de estas técnicas al diseño de una planta química nueva puso de manifiesto una serie de puntos débiles del diseño.

¹⁹ Anexo "C". "Metodologías de identificación de riesgos. Redminera.com",

<http://www.redminera.com/Contenido/Codanexoc.htm>, Chile, 2001.

²⁰ Guía técnica, op. cit. supra, nota 14.



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 método se formalizó posteriormente y ha sido hasta ahora ampliamente utilizado en el campo químico como una técnica particularmente apropiada a la identificación de riesgos en una instalación industrial.

El HazOp o AFO (Análisis Funcional de Operatividad) es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los accidentes se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto de los parámetros normales de operación. La característica principal del método es que es realizado por un equipo pluridisciplinario de trabajo.

La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guías".

- **DEFINICIONES PARA EL HAZOP.**
 - o **DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.**

La primera fase del estudio HazOp consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una instalación de proceso, considerada como el sistema objeto de estudio, se definirán para mayor comodidad una serie de subsistemas o unidades que corresponden a entidades funcionales propias, como por ejemplo: preparación de materias primas, reacción, separación de disolventes.

- o **DEFINICIÓN DE LOS NODOS.²¹**

En cada subsistema se identificarán una serie de nodos o puntos claramente localizados en el proceso. Unos ejemplos de nodos pueden ser: tubería de alimentación de una materia prima, un reactor aguas arriba de una válvula reductora, impulsión de una bomba, superficie de un depósito. Cada nodo será enumerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido de proceso para mayor comodidad. La técnica HazOp se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nodo vendrá caracterizado por unos valores determinados de las variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad y estado.

²¹ **"Taller de análisis de riesgos y operabilidad"**, UNAM-Facultad de Química, Mexico, 1999, p.29.



Los criterios para seleccionar los nodos tomarán básicamente en consideración los puntos del proceso en los cuales se produzca una variación significativa de alguna de las variables de proceso.

Es conveniente, a efectos de la reproducibilidad de los estudios reflejar en unos esquemas simplificados (o en los propios diagramas de tuberías e instrumentación), los subsistemas considerados y la posición exacta de cada nudo y su numeración en cada subsistema.

Es de notar que por su amplio uso la técnica tiene variantes en cuanto a su utilización que se consideran igualmente válidas. Entre estas destacan, por ejemplo, la sustitución del concepto de nudo por el de tramo de tubería o la identificación nudo-equipo.

○ DEFINICIÓN DE LAS DESVIACIONES A ESTUDIAR.

Para cada nudo se planteará de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía. En la tabla 5, se indican las principales palabras guía y su significado.

El HazOp puede consistir en una aplicación exhaustiva de todas las combinaciones posibles entre palabra guía y variable de proceso, descartándose durante la sesión las desviaciones que no tengan sentido para un nudo determinado. Alternativamente, se puede fijar a priori en una fase previa de preparación del HazOp la lista de las desviaciones esenciales a estudiar en cada nudo.

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 y viscosidad. Palabras de aspecto operacional como: arranque, paro, mantenimiento, inspección, drenar, purgar y venteo.

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	Mas	(aumento cuantitativo de una variable)	Mas presión
Temperatura	Menos	(opuesto a mas)	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 8. Palabras guía para localizar desviaciones o causas.

- RECURSOS NECESARIOS PARA EL HAZOP.

La característica principal de la técnica es que se realiza en equipo en sesiones de trabajo dirigidas por un coordinador. El equipo de trabajo debería de estar compuesto, como mínimo, por:

- ◆ Responsable de proceso.
- ◆ Responsable de la operación de la planta.
- ◆ Responsable de seguridad.
- ◆ Responsable del mantenimiento.
- ◆ Coordinador.



Adicionalmente se puede recurrir a consultas puntuales a técnicos de otras áreas como instrumentación, laboratorio, entre otros. En una planta en fase de diseño se completará el equipo con un responsable del diseño, uno de proyecto y el futuro responsable de la puesta en marcha.

Las personas que toman parte en las sesiones deberán de ser personas:

- ◆ Muy conocedoras de la planta y expertas en su campo.
- ◆ Dispuestas a participar activamente.

No es necesario que tengan un conocimiento previo del método en sí.

Una de las personas que formen parte del equipo de trabajo tendrá encomendada la labor de transcripción de las sesiones de forma precisa y lo más completa posible. Deberá tener capacidad de síntesis y un buen conocimiento tanto de la instalación como del método.

Destaca en el método el papel del coordinador quien conduce las sesiones. Deberá de ser una persona:

- ◆ Relativamente objetiva.
- ◆ Con un buen conocimiento del método.
- ◆ Con amplia experiencia industrial.
- ◆ Con capacidad de organización (debe potenciar la participación de todos los presentes, cortar disquisiciones improductivas, estimular la imaginación, favorecer un ambiente de colaboración y competencia sana).

En promedio se podría evaluar en tres horas el tiempo de dedicación necesario para cada nodo a estudiar repartidas en partes iguales en:

- ◆ Preparación.
- ◆ Sesión.
- ◆ Revisión y análisis de resultados.

Siendo las actividades primera y última las realizadas por el coordinador.

- SOPORTES INFORMÁTICOS.

Existen algunos códigos informáticos que permiten registrar las sesiones de HazOp de forma directa. Entre ellos se puede citar: el código desarrollado por la compañía Dupont de Nemours, HAZSEC (compañía Technica), HAZTRAC (Technica), HazOp (compañía ITSEMAP), el "HazOp Wizard" desarrollado por la UNAM, el cual fue utilizado para el desarrollo del presente



proyecto. Estos guían al técnico durante las sesiones y permiten en general una posterior agrupación y clasificación de las recomendaciones surgidas en el estudio, además permite que los resultados se registren en planillas y formularios en forma automática.

- ÁMBITO DE APLICACIÓN.

El método encuentra su utilidad, principalmente, en instalaciones de proceso de relativa complejidad, o en áreas de almacenamiento con equipos de regulación o diversidad de tipos de trasiego.

Es particularmente provechosa su aplicación en plantas nuevas porque puede poner de manifiesto fallas de diseño y construcción. que han podido pasar desapercibidos en la fase de concepción. Por otra parte, las modificaciones que puedan surgir del estudio pueden ser más fácilmente incorporadas al diseño.

Aunque el método esté enfocado básicamente a identificar sucesos iniciadores relativos a la operación de la instalación, por su propia esencia, también puede ser utilizado para sucesos iniciadores externos a la misma.

- 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 4.

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



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

Figura 4. Tabla típica de resultados del análisis HazOp.

- VENTAJAS / DESVENTAJAS.

Además de cubrir los objetivos para los cuales se utiliza el método, se pueden destacar, entre otras, las siguientes ventajas adicionales al método:

- ◆ Ocasión perfecta y quizás única para contrastar distintos puntos de vista de una planta.
- ◆ Es una técnica sistemática que puede crear desde el punto de vista de seguridad hábitos metodológicos útiles.
- ◆ El coordinador mejora su conocimiento del proceso.
- ◆ No requiere prácticamente recursos a exclusión del tiempo de dedicación, etc.

Como inconvenientes se podrían citar también:

- ◆ Es una técnica cualitativa. No hay una valoración real de la frecuencia de las causas que producen una consecuencia grave ni tampoco del alcance de la misma.
- ◆ Las modificaciones a la planta surgidas del HazOp deben analizarse con mayor detalle y otros criterios (económicos, etc.).
- ◆ Los resultados obtenidos son muy dependientes de la calidad del equipo.
- ◆ Es muy dependiente de la información disponible. Puede omitirse un riesgo si los datos de partida son erróneos o incompletos.

- RESULTADOS ESPERADOS DEL ANÁLISIS HAZOP.

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.

d. CHECK LIST (LISTA DE VERIFICACIÓN).²²

Check list o Listas de Verificación, son utilizadas usualmente para determinar la adecuación a un determinado procedimiento o reglamento. La primera referencia bibliográfica al método es de 1971, artículo publicado por Millar and Howard en la revista inglesa Major Loss Prevention in Process Industries (London Institution of Chemical Engineers).

Análisis con lista de verificación. Este análisis sirve para hacer una evaluación de los materiales, equipos y procedimientos en cuanto a deficiencias del diseño, accidentes por operación del equipo y del proceso.

- DESCRIPCIÓN.

Son listas de fácil aplicación y pueden ser utilizadas en cualquier fase de un proyecto o modificación de una planta. Es una manera adecuada de evaluar el nivel mínimo aceptable de riesgo de un determinado proyecto; evaluación necesaria en cualquier trabajo independientemente de sus características.

Muchas organizaciones utilizan las listas de inspección estandarizadas para seguimiento y control de las diferentes fases de un proyecto.

- ÁMBITO DE APLICACIÓN.

Ya se ha mencionado que son aplicables a todas las fases de un proyecto, y poseen, además, la doble vertiente de comunicación entre miembros del proyecto y control del mismo. A título recordatorio, podemos indicar su empleo en:

- ◆ Diseño.
- ◆ Construcción.
- ◆ Puesta en marcha.
- ◆ Operación.

²² Guía técnica, op. cit. supra, nota 14.



◆ Paradas.

El resultado de la aplicación de estas listas es la identificación de riesgos comunes y la adecuación a los procedimientos de referencia. Los resultados son siempre cualitativos pero suelen limitarse al cumplimiento o no de las normas de referencia.

- **RECURSOS NECESARIOS.**

Las listas de inspección deben ser preparadas por personas de gran experiencia. Es necesario disponer de las normas o estándares de referencia, así como de un conocimiento del sistema o planta a analizar. Pueden ser puestas en práctica por un titulado sin gran experiencia, aunque los resultados deben ser supervisados por alguien con experiencia.

- **SOPORTES INFORMÁTICOS.**

Cuando se debe aplicar esta técnica de forma reiterada, es usual que las empresas consultoras de seguridad tengan desarrollados formatos informatizados que cubran determinados procedimientos o reglamentos.

- **VENTAJAS / DESVENTAJAS.**

Es un método que permite comprobar con detalle la adecuación de las instalaciones. Constituye una buena base de partida para complementarlo con otros métodos de identificación que tienen un alcance superior al cubierto por los reglamentos e instrucciones técnicas. Es un método que examina la instalación solamente desde el punto de vista de cumplimiento de un reglamento o procedimiento determinado.

e. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Los objetivos del Análisis de Consecuencias (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 etapas²³ a saber: una selección de los eventos indeseables que se deben analizar; la especificación de los escenarios; una determinación de la mecánica de

²³ UNAM-Facultad de Química, México, 1999, op. cit. supra, nota 21, p.7



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.

Análisis de Consecuencias. 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 flamables, explosivos y tóxicos, como son las gasolinas, diesel, querosina, turbosina, gas combustible y cloro. Proporciona el área de riesgo si llega a incendiarse o explotar algún equipo como consecuencia del derrame o fuga de los materiales mencionados.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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 Instituto Americano del Petróleo y el Banco Mundial.

Para materiales tóxicos, radiación térmica y sobrepresión, 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). En México los exige el Instituto Nacional de Ecología (INE) mediante la Dirección General de Materiales, Residuos y actividades Peligrosas.

- **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.

- **CUANTIFICACIÓN DE LOS EFECTOS: MODELOS DE ACCIDENTES.²⁴**

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.

Si el escape es de líquido se formará una balsa, (en función de la disposición del terreno y existencia de contenedores o diques.) 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.

²⁴ Francisco González Cubero, Luis Moneo Peco, J. A. Vilchez, Xavier Pérez-Alavedra, "**Riesgo Industrial: Análisis, Cálculos y Representación de Consecuencias**". 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 y explosión. (figura 5). 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:

- a) Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico:
 - ◆ Incendio de charco (pool fire).
 - ◆ Llamarada (flash fire).
 - ◆ Dardo de fuego (jet fire).
 - ◆ BLEVE o Bola de fuego (fireball).
- b) Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico:
 - ◆ Explosión de nube inflamable no confinada (UVCE).
 - ◆ Explosión confinada de vapores (CVE).
 - ◆ Estallido de recipiente a presión.
 - ◆ Explosión BLEVE.

Escenarios que determinan fenómenos peligrosos asociados a la concentración de la sustancia emitida en el ambiente (de tipo térmico para sustancias inflamables y de tipo químico para sustancias tóxicas)

- ◆ Chorro turbulento (jet).
- ◆ Dispersión instantánea (bocanada).
- ◆ Dispersión continua (emisión prolongada en el tiempo).
- ◆ Dispersión transitoria (emisión limitada en el tiempo, a menudo variable).
- ◆ Dispersión neutra o Gaussiana (dispersión de gases o vapores con densidad similar al aire).
- ◆ Dispersión de gases pesados (la gravedad influencia de manera destacada la evolución de la nube en los primeros momentos).



- 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.

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.

Fireball. El evento de fireball o bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor flamable 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 líquido 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 llegue a su punto de evaporación súbita. Si el material líquido / vapor descargado es inflamable, la ignición de la mezcla puede resultar en un fireball.

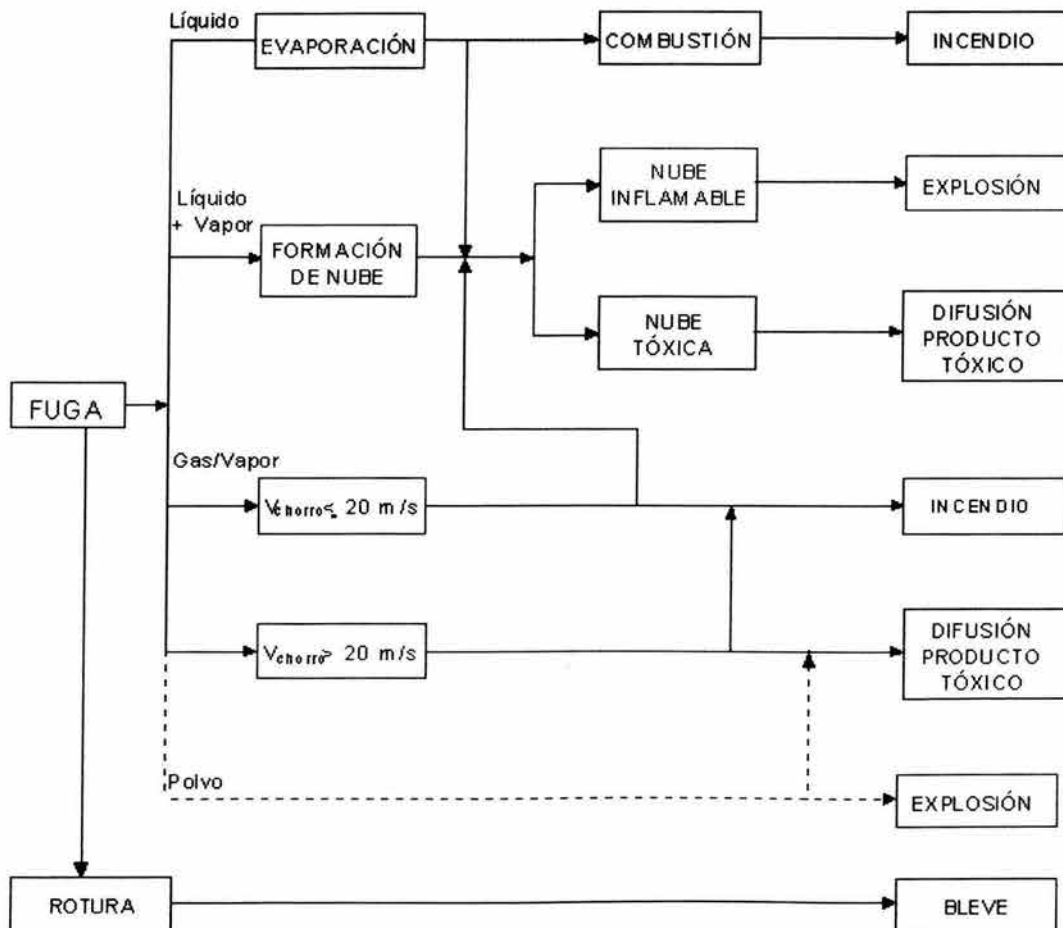


Figura 5. Comportamiento de una fuga.²⁵

²⁵ Idem.



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.

- 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 o mg/m^2). Los umbrales habitualmente utilizados para establecer los daños se describen en la siguiente tabla (Tabla 9).

6. USOS E IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS.²⁶

Las técnicas de análisis se pueden aplicar a un amplio rango de situaciones de riesgo para la salud y el medio ambiente, 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.

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.

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

²⁶ Redminera.com, op. cit. supra, nota 19.



las desviaciones de las condiciones de temperatura, presión, flujo y viscosidad. 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.

FENÓMENOS PELIGROSOS	VARIABLES FÍSICAS PELIGROSAS	UMBRALES PELIGROSOS
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	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": $IDLH_n \times 30 \text{ min} = C_n \times t$

Tabla 9. Estimación del alcance de magnitudes físicas peligrosas.



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

7. 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.

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.

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, permitirán óptimos procedimientos de operación, planes de arranque y paro de emergencia, sistemas de entrenamiento y programas de mantenimiento. De lo anterior, dependerá mas adelante y en gran medida la seguridad del proceso. Su selección se realiza según los siguientes criterios (ver tabla 10 y figura 6).

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

Tabla 10. Criterios para seleccionar la técnica de análisis.



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.²⁷

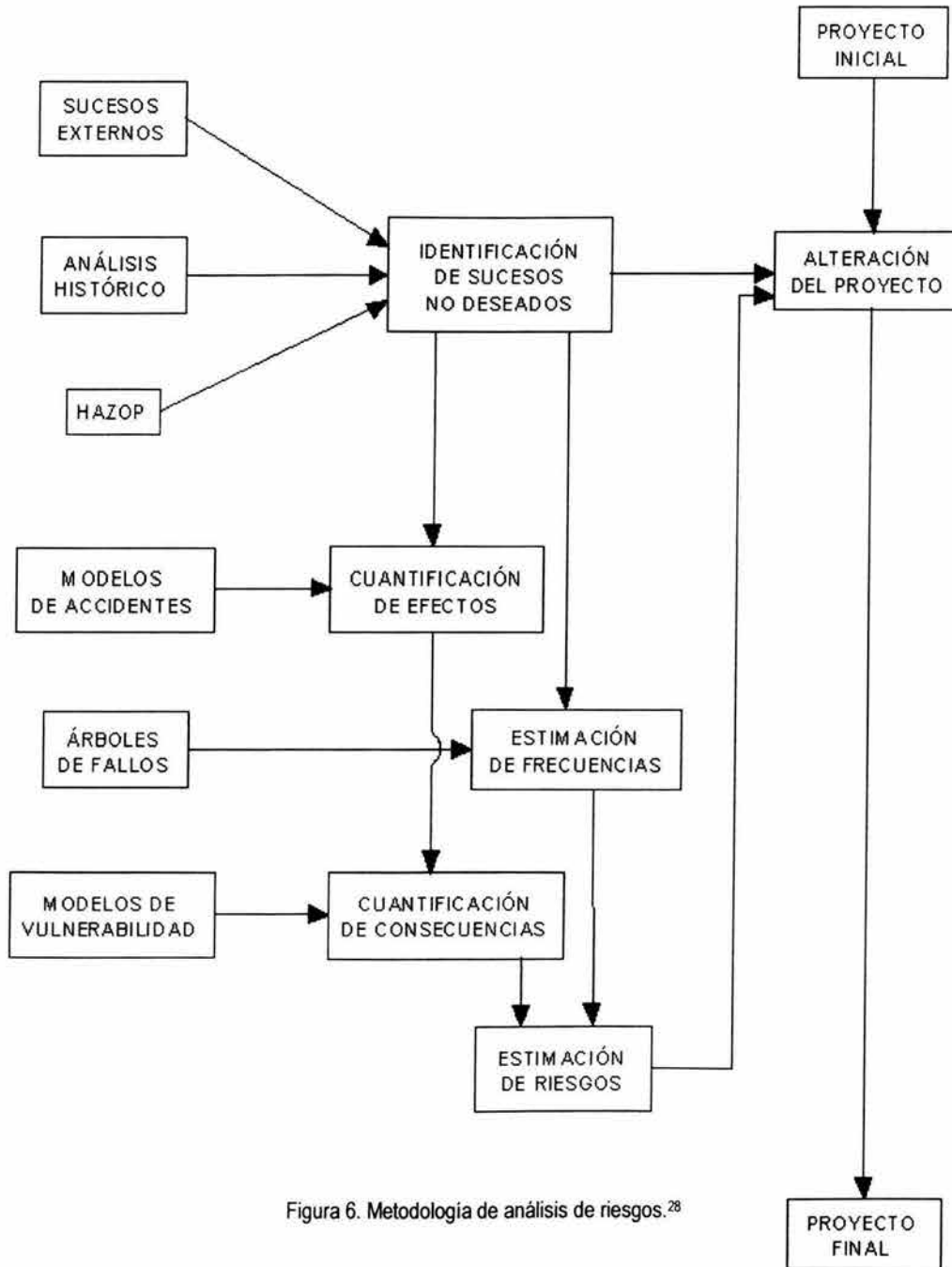


Figura 6. Metodología de análisis de riesgos.²⁸

²⁷ 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.

²⁸ Marzo 2002. Zaragoza, España, nota 24.



Trabajo en
campo.

CAPÍTULO II TRABAJO EN CAMPO.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



Capítulo II

TRABAJO EN CAMPO

PEMEX-Refinación y la UNAM-Facultad de Química han estado colaborando para la realización de análisis de riesgos en las refinерías 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 tanques de almacenamiento de sustancias peligrosas como sosa cáustica, ácido sulfúrico, cloro, gas combustible, combustóleo o calderas, 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.

A. REFINERÍA “ING. HÉCTOR R. LARA SOSA”.

La Refinería Ing. Héctor R. Lara Sosa se encuentra localizada en el estado de Nuevo León, en el municipio de Cadereyta Jiménez, a 36 Km al este de la Ciudad de Monterrey.

Sus instalaciones ocupan un área total de 612 hectáreas, que se encuentran estratégicamente situadas para cubrir las necesidades de energéticos de los estados de Nuevo León, Coahuila, Chihuahua y en forma parcial los estados de Durango, San Luis Potosí y Tamaulipas.

La construcción de la primera planta de destilación primaria de la Refinería de Cadereyta comenzó en 1975, iniciando sus operaciones el 12 de febrero de 1979. La Refinería de Cadereyta cuenta actualmente con una capacidad de refinación de 270,000 barriles de crudo por día. Todos los productos que se elaboran están bajo las más estrictas normas de calidad y seguridad, siempre buscando la mejora continua y preocupados principalmente por el cuidado del medio ambiente. Todos los productos cumplen con los requisitos de la norma ISO-9002:1994/NMX-CC-004:1995 y están certificados.



- ◆ PEMEX Magna
- ◆ PEMEX Diesel
- ◆ PEMEX Premium
- ◆ Turbosina
- ◆ Combustóleo
- ◆ Asfaltos
- ◆ Azufre
- ◆ Propileno
- ◆ Gas Nafta
- ◆ Gas LP

En el año 2000 la refinería tuvo una reconfiguración, se trató de un programa muy ambicioso a tal grado que es muy posible que ninguna otra petrolera cuente con un proyecto trianual de esta magnitud de inversión. El proyecto Cadereyta 2000 incluyó la construcción de 9 plantas y la modernización de 10 ya existentes en nuestra refinería con los siguientes objetivos:

1. Satisfacer la creciente demanda regional de gasolina sin plomo (PEMEX Magna y PEMEX Premium) y de diesel (PEMEX diesel).
2. Reducir la producción de combustóleo de alto contenido de azufre.
3. Cumplir con los requerimientos de las normas ambientales (NOM-085 para combustibles industriales y NOM-086 para automotrices) que definirán las especificaciones para productos petrolíferos, particularmente del máximo contenido de azufre en combustóleo y diesel, así como el máximo porcentaje de aromáticos, olefinas y benceno en la gasolina.
4. Optimizar la mezcla de crudo en la refinería, tomando en cuenta la mayor disponibilidad de crudos pesados y amargos, tales como el Maya. Ampliar y modernizar las plantas existentes para maximizar las utilidades.

B. 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. El 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 cualquier 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 Planta de Servicios Auxiliares. 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, entre otros). A continuación se enlistan algunos de los diagramas utilizados para visualizar el proceso, además se anexa el Plano de Localización general de la Planta:

NO. DE DIAGRAMA	TIPO DE DIAGRAMA	NOMBRE DEL DIAGRAMA	PÁGINA
000-00-000	PLG	Planta de Fuerza No 1	Apéndice B
CA-5A-002	DTI	CALDERA CB-1 (200 TON/Hr Y 60 Kg/cm) SISTEMA AGUA-VAPOR	Apéndice B
CA-5A-019A	DTI	DEAERADOR 0250-L	Apéndice B
CA-5B-047A	DTI	UNIDAD DESMINERALIZADORA No. 3	Apéndice B



C. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA EL ESTUDIO DE RIESGOS EN LA PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS AUXILIARES.

La metodología empleada para realizar el análisis de riesgos de la planta de fuerza y servicios auxiliares fue la siguiente:

1. Revisión bibliográfica del área de estudio (proceso de operación de la planta de fuerza y servicios auxiliares).
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 o 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. Aplicación de las Técnicas What if...? (Qué pasa si...?), check list (lista de verificación) para los circuitos seleccionados en la planta de tratamiento de agua y en la planta de fuerza en la sección de generación de vapor y sección de generación de energía eléctrica (planta de fuerza y servicios auxiliares)



7. Establecimiento del plan de trabajo para dar seguimiento a las recomendaciones obtenidas durante el estudio HazOp, What if...? (Qué pasa si...?) y check list (lista de verificación).
8. Identificar escenarios de accidentes durante la aplicación de la técnica HazOp, What if...? (¿Qué pasa si...?) y lista de verificación.
9. Aplicación de la técnica de análisis de árbol de fallas y análisis de consecuencias para cada escenario de accidente identificado.

D. PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS AUXILIARES.¹

1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

El propósito principal de la planta de fuerza y servicios auxiliares es el suministrar en forma continua, con calidad y en cantidad suficiente los servicios auxiliares requeridos por las plantas de proceso para la elaboración de productos derivados del petróleo crudo, dentro de la normatividad vigente con respecto a la seguridad y protección al medio ambiente.

El agua necesaria para cumplir con este propósito, principalmente es proporcionada por la planta tratadora de aguas negras ubicada en la ciudad de Guadalupe Nuevo León, la cual al llegar a la Refinería es sometida a múltiples tratamientos de acuerdo al uso que será destinada en; para generación de vapor, torres de enfriamiento, red de contra-incendio, agua de proceso, agua de riego y agua potable, en la planta de uso integral del agua, además, toda el agua de los efluentes de las plantas de proceso, torres de enfriamiento, generadores de vapor y purgas por retrolavados. es recuperada y enviada a esta misma planta donde se trata de reciclarla; otras fuentes menos importantes son la del río Ramos, pozos Cadereyta y pozos Papagayos, que son usadas en caso de contingencias.

Para evitar contingencia por déficit en la existencia de agua se encuentran instalados 4 tanques para almacenamiento de agua con una capacidad cada uno de 200, 000 barriles en el área de almacenamiento (A-58) y en la planta de tratamiento de agua y planta de fuerza están instalados tres tanques de 55,000 barriles y dos de 40,000 barriles respectivamente; en estos se almacena agua cruda, agua desmineralizada y agua renovada, al termino de esta sección se

¹ **“Manual de Operación de la Planta de Fuerza y Servicios Auxiliares de la Refinería “Ing. Héctor R. Lara Sosa” de Cadereyta, Jiménez Nuevo León.”**, PEMEX, México, 2003



muestra un desglose de la planta de fuerza y servicios auxiliares (Pág. 80). Los servicios que proporciona la planta de fuerza y servicios auxiliares son:

- ◆ Generación de energía eléctrica.
- ◆ Generación de vapor.
 - ◆ Vapor de agua sobrecalentado.
- ◆ Planta de tratamiento de agua.
 - ◆ Agua desmineralizada.
 - ◆ Recuperación y limpieza de condensado.
 - ◆ Agua de enfriamiento.
 - ◆ Aire comprimido.
 - ◆ Agua de contra incendio.
 - ◆ Agua potable.

2. TRATAMIENTO DE AGUA.^{2,3}

a. DESCRIPCIÓN DEL SUMINISTRO DE AGUA CRUDA.

El agua que se utiliza en la Refinería es suministrada por el río Ramos, pozos del área de Cadereyta, pozos del área de Papagayos. De estas tres fuentes, el río Ramos resulta ser de mejor calidad y caudal suficiente, el agua proveniente del río Ramos llega al tanque TV-209 y de este se trasiega por medio de bombas hacia los tanques 253 V1/V2, de estos tanques se alimentan las plantas desmineralizadoras UDA-1, UDA-2 Y UDA-3. El agua proveniente del Río Ramos es rica en silicato de sodio, cloruros, sulfatos, bicarbonatos de calcio y magnesio, estas sales son las que dan la característica de dureza y las hacen tan perjudiciales para la industria. A continuación analizaremos las características de la materia prima y su medio de tratamiento.

b. SISTEMA DE DESMINERALIZACION DE AGUA CRUDA.

La desmineralización del agua o soluciones acuosas mediante el uso de resina de intercambio iónico se lleva a cabo de la siguiente forma. El primer paso consiste en transformar las sales que contiene el agua a su ácido correspondiente, haciendo pasar el agua a través de un cambiador de iones hidrógeno (resina ácida), por ejemplo: carbonato de calcio (CaCO_3) se transforma a su ácido correspondiente o sea ácido carbónico (H_2CO_3) y el calcio es retenido por

² Idem.

³ “Curso General para Operadores de la Planta de Fuerza y Servicios Auxiliares de la Refinería “Ing. Héctor R. Lara Sosa” de Cadereyta, Jiménez Nuevo León.”, PEMEX, México. 2003



CAPÍTULO II
TRABAJO EN CAMPO



DESGLOSE DE LA PLANTA DE FUERZA				
TRATAMIENTO DE AGUA		GENERACION DE VAPOR	GENERACION ELECTRICA	
Almacenamiento		Sistema agua de alimentación	Torres de enfriamiento	
Planta de filtrado		Bomba agua a deareadores	Planta de fuerza	
Planta potabilizadora		Deareadores	Planta de proceso	
UDA-1	Tren 1	Bombas agua calderas	Sistema de aire comprimido	
	Catión débil	Sistema de combustóleo	Compresores	
	Catión fuerte	Almacenamiento	Aire de instrumentos	
	Desgasificaor	Calentadores	Aire de plantas	
	Anión	Aditivos	Subestaciones eléctricas	
	Regeneración	Bombas combustóleo calderas	Enlace con C.F.E	
UDA-2	Tren 1	Sistema de gas	Tablero general generación	
	Catión fuerte	Almacenamiento	Planta fuerza	
	Desgasificador	Distribución	Planta de proceso	
	Anión	Sistema de atemperación	Turbogenerador TG-201	
	Regeneración	Bombas agua a deareador	Sistema de lubricación	
		Tren 2	Deareador	Sistema de condensado
	Catión fuerte	Bombas agua atemperación	Sistema de enfriamiento	
	Desgasificador	Caldera CB-1	Sistema de vapor	
	Anión	Sistema aire gases	Turbina	
	Regeneración	Sistema agua vapor	Generador	
UDA-3	Tren 1	Sistema quemadores	Turbogenerador TG-202	
	Catión débil	Sistema sopladores de hollin	Sistema de lubricación	
	Catión fuerte	Caldera CB-2	Sistema de condensado	
	Desgasificador	Sistema aire gases	Sistema de enfriamiento	
	Anión	Sistema agua vapor	Sistema de vapor	
	Regeneración	Sistema quemadores	Turbina	
		Tren 2	Sistema sopladores de hollin	Generador
	Catión débil	Caldera CB-3	Sistema de información IS	
	Catión fuerte	Sistema aire gases	Vista general	
	Desgasificador	Sistema agua vapor	Vista de planta	
	Anión	Sistema quemadores	Vista de grupo	
	Regeneración	Sistema sopladores de hollin	Teclado funcional	
		Tren 3	Caldera CB-4	Teclado softkey
	Catión débil	Sistema aire gases	Operación por jerarquia	
Catión fuerte	Sistema agua vapor	Operación directa		
Desgasificador	Sistema quemadores	Curvas de tendencias		
Anión	Sistema sopladores de hollin	Curvas calendario		
Regeneración	Seguridad	Gráficas de barras		
LawSCO	Flocfiltros		Impresión de reportes	
	Suavifiltros		Sistema de operación OS	
			Vista general	
			Vista de planta	
Condensado limpio			Vista de grupo	
Condensado aceitoso de media presión			Operación por jerarquia	
			Operación directa	
Fosas de neutralización			Sistema información MELD	
Condensado aceitoso de baja presión			Sistema KURV	
			FRANZ	
Sistema de observación y Control WIN CC			NOBI	
			Controles analógicos	
Controles analógicos			Controles binarios	
Controles binarios			Lógica de control	
Lógica de control			Lógica de protección	
Lógica de protección			Seguridad	
Seguridad				



la resina. A su vez el ácido carbónico (H_2CO_3) se disocia o separa en la solución acuosa en bióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) o sea bióxido de carbono disuelto en agua.

El segundo paso consiste en eliminar el CO_2 formado en las reacciones del primer paso, pues es perjudicial su presencia en el agua que se utilizará en calderas. Esto se logra mediante un desgasificador, equipo en el cual, el agua se atomiza sobre una cama o empacado de anillos tallerestres, y se pone en contacto con una corriente de aire ascendente que es inyectado con un soplador, o también efectuando un vacío con vapor. Estas acciones eliminan la mayor cantidad de CO_2 disuelto en agua.

El tercer paso consiste en eliminar acidez del agua en un intercambiador de iones hidróxidos (resinas alcalinas). Aquí la resina combina su anión hidróxido (OH^-), con los iones hidrógenos de los ácidos presentes en la solución, o sea, que al combinarse OH^- con H^+ forman agua y neutralizan la solución y la resina retiene los sulfatos y cloruros, que estaban formando los ácidos de la solución y se obtiene de ese paso agua pura ($H^+ + OH^- \rightarrow H_2O$). La viscosidad es una propiedad final del agua que afecta su tratamiento y su empleo. Es una medida de la fricción interna, es decir de la fricción de una capa de moléculas que se mueve sobre otra. Al aumentar la temperatura del agua, esta fricción interna disminuye. Debido a este efecto de la temperatura, las sales y gases disueltos pueden difundirse más rápidamente en el agua tibia, el tratamiento químico se acelera y los procesos físicos de sedimentación y desgasificación se efectúan con mayor rapidez.

c. PLANTA DESMINERALIZADORA (UDA-1).

La planta consta de un tren el cual se compone de:

- ◆ Una columna catiónica débil (WID-300A).
- ◆ Una columna catiónica fuerte (WIF-300A).
- ◆ Una torre desgasificadora (THD-300), que es común a los dos trenes de la planta desmineralizadora UDA-2 (Planta Pfaudler).
- ◆ Una columna aniónica estratificada (WIE-300A).
- ◆ Tres bombas de transferencia (BA-300A/B/C).
- ◆ Un tanque de día para la sosa cáustica (THC-300).
- ◆ Un tanque de día para el ácido sulfúrico (THA-300).



La teoría de desmineralización que sigue la planta, es el intercambio iónico, el tren tiene un flujo máximo de 800 GPM y un tiempo por corrida de 30 horas. Existen tres plantas con características semejantes para el proceso de desmineralización UDA-1 con un flujo máximo de 800 GPM, UDA-2 con un flujo máximo de 525 GPM Y UDA-3 con un flujo máximo de 900 GPM.

d. RESINAS EMPLEADAS Y VOLUMEN.

Las resinas que se emplean en el tratamiento de agua por desmineralización en la planta de UDA-1, así como su volumen son:

Resinas ácidas: En la columna catiónica débil (WID-300A), se emplean un volumen de 413ft³ de resina Amberlita IRC-84, y en la columna catiónica fuerte (WIF-300A), se emplea un volumen de 679 ft³ de resina Amberlita IR-200.

Resinas alcalinas: La columna aniónica estratificada (WEI-300A), lleva dos tipos de resina formando estratos como su nombre lo indica o capas. La capa superior lleva un volumen de 161 ft³ de resina Amberlita IRA-94S y la capa inferior de un volumen de resina también seleccionada Amberlita IRA-402S, por cada unidad.

Las resinas que se emplean en el tratamiento del agua por desmineralización en la planta UDA-2, así como su volumen son:

Resinas ácidas: En la columna catiónica, se emplean un volumen de 506 ft³ de resina fuertemente ácida Amberlita IRC-200 por cada unidad.

Resinas alcalinas: La columna aniónica estratificada (WEI-300A), lleva dos tipos de resina formando estratos como su nombre lo indica o capas. La capa superior lleva un volumen de 161 ft³ de resina Amberlita IRA-94S y la capa inferior un volumen de 79 ft³ de resina seleccionada Amberlita IRA-402S, por unidad.

Las resinas que se emplean en el tratamiento del agua por desmineralización en la planta UDA-3, así como su volumen son:

Resinas ácidas: En la columna catiónica débil (201-V,206-V,226-V), se emplea un volumen de 259 ft³ de resina Amberlita IRC-84 por unidad y en la columna catiónica fuerte (202-V,207-V,227-V), se emplea un volumen de 638 ft³ de resina Amberlita IR-200.

Resinas alcalinas: La columna aniónica estratificada lleva dos tipos de resina formando estratos como su nombre lo indica o capas. La capa superior lleva un volumen de 462 ft³ de resina Amberlita IRA-94S y la capa inferior de un volumen de 154 ft³ de resina IRA-402S.



e. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE INTERCAMBIO IÓNICO.

El proceso de intercambio iónico en el interior de una unidad, guarda similitud con los procesos de destilación, se puede representar como un sistema compuesto por series de equilibrios químicos, semejante a la destilación por platos, como la solución fluye hacia abajo en la columna, la reacción de intercambio se desplaza en el lecho a niveles inferiores de acuerdo a las condiciones de equilibrio de cada nueva etapa encontrada.

Cuando se diseña una columna de intercambio iónico se establece como prioridad la concentración máxima admisible de iones indeseables en el efluente producido. Cuando se llega a esta concentración, es decir que el equilibrio en ese punto se ha producido en la última etapa, se debe proceder a la regeneración de la resina, para poder utilizarla en un nuevo ciclo. Todo esto es posible gracias a las diferentes selectividades de la resina hacia los iones, la cual en soluciones acuosas diluidas y a temperaturas normales, aumenta con la valencia de los iones y el número atómico.

f. PLANTA LAWSCO TRATADORA DE CONDENSADO ACEITOSO Y LIMPIO RECUPERADO.

El condensado aceitoso de media y baja que se recupera de las plantas como son combinadas 1 y 2, hidros, azufre y calderas es almacenado en el tanque 254-V capacidad de 5,000 bls.

g. CONDENSADO ACEITOSO.

El área de los condensados cuenta con un tanque el 254-V además de dos tanques de flash el 272-V y el 298-V que es a donde llega el condensado aceitoso de media así como dos torres atmosféricas la 271-V y 297-V que es a donde llega el condensado aceitoso de baja. Las bombas 210-P/PB/PA. Succionan de las torres atmosféricas el condensado y lo envían hacia el tanque 254-V, en esta área también se cuenta con dos bombas 212-P/PB que succionan del tanque 254-V y suministran el condensado aceitoso hacia los flocfiltros de carbón antracita 275-V, 276-V, 277-V, 209-V, 210-V, 211-V, en los cuales se eliminan las trazas de aceite que contiene el condensado aceitoso, posteriormente el condensado se pasa a través de los filtros (suavifiltros) 215-V, 216-V, 217-V que contienen resina de intercambio iónico donde se elimina la dureza que pudiera traer el condensado aceitoso el cual se envía ya como condensado pulido hacia los tanques 253-V1, 253-V2 de agua tratada. Cada flocfiltro tiene un flujo de 442 LPM.



h. CONDENSADO LIMPIO.

El condensado limpio recuperado procedente de las plantas llega directamente hacia los filtros (suavifiltros) de la Planta Lawasco, aunque el condensado limpio recuperado mantiene una calidad química adecuada para ser usado directamente en agua de alimentación a calderas. Es pasado por los filtros (suavifiltros) 212-V, 213-V, 214-V, 215-V, 216-V, 217-V, 278-V, 279-V, 280-V, que contienen resina de intercambio iónico con el objeto de quitar el hierro que puede contener el condensado además de aluminio, cobre y zinc. Posteriormente el condensado limpio recuperado después de pasar por los suavifiltros es enviado ya como condensado pulido hacia los tanques de agua tratada 253-V1/V2. Cada suavifiltro tiene un flujo de 442 LPM. También en el área de la planta de Lawasco se cuenta con el tanque 255-V el cual tiene una capacidad de 5,000 bls, en el cual se almacena condensado limpio recuperado.

Este condensado llega directamente del cabezal del condensado limpio sin haber pasado por los suavifiltros, del tanque 255-V, succionan las bombas BA-201 A/B/C, que suministran el condensado hacia el deaeradores ED-200.

i. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SUMINISTRO DE AGUA CONTRA INCENDIO.

En la actualidad el suministro de la red de contra-incendio de la Refinería, se puede obtener del cabezal de agua renovada de San Rafael, del área de efluentes (lagunas de estabilización), del tanque 284-V localizado en el área de tratamiento de agua y también del tanque TV-208 localizado en el área 58 de la planta de fuerza. Para presionar la red de contra incendio se pueden utilizar las siguientes bombas:

- ◆ 217-P/PA/PC, las cuales succionan el agua del tanque 284-V.
- ◆ 5805-P/PA/PX/217-PE/PF/PD; las cuales succionan el agua del tanque TV-208.
- ◆ 6012-P que succiona el agua de las lagunas de estabilización..

También se presiona la red de contra-incendio por medio del cabezal de agua renovada alineando la válvula de comunicación de este cabezal con el de la red de Contra-incendio localizada en el área 58 de la planta de fuerza y servicios auxiliares.



j. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE LA PLANTA POTABILIZADORA.

La planta potabilizadora de la Refinería cuenta con instalaciones para recibir agua cruda de las siguientes fuentes:

- ◆ Pozo Cadereyta.
- ◆ Pozos Papagayos.
- ◆ Río Ramos.

El agua proveniente de estas fuentes pasa por medio de los filtros de carbón activado FCA 30A/B en los que se eliminan los sólidos en suspensión que pudiera traer el agua y llega al tanque TV-30 con capacidad de 10,000 bls.

De este tanque succionan las bombas BA-32 A/B para presionar la red del agua potable. En la planta potabilizadora se cuenta también con un sistema de cloración en el cual se utilizan las bombas BA-31 A/B.

También el agua proveniente de estas fuentes se puede recibir en el tanque 209 con capacidad de 200,000 bls. El cual se localiza en el área 58. Del cabezal del río Ramos por medio de las bombas BA-30 A/B también se suministra agua hacia el tanque TV-30 de la planta potabilizadora.

3. GENERACIÓN DE VAPOR.⁴

a. CALDERAS.

Una caldera o generador de vapor es empleada para suministrar vapor de agua, obtenido mediante la transferencia de calor de una fuente externa, para la generación de energía eléctrica, para procesos industriales o calefacción. Las fuentes de calor externas pueden ser gases de desechos, fluidos de una corriente de un proceso o una combustión. El tipo de caldera usadas en la planta termoeléctrica de la refinería son del tipo acuatubulares, es decir que las paredes están compuestas por tubos por cuyo interior circula el agua que es convertida en vapor.

Los componentes principales de una caldera son hogar o homo, paredes de agua, banco generador, sobrecalentador, domo de vapor, tambor o domo de lodos, quemadores, ventiladores de tiro forzado y aire primario, precalentador regenerativo, sopladores de hollín.

⁴ Manual de operación. op. cit. supra, Nota 1.



b. VENTILADORES DE TIRO FORZADO.

Uno de los tres elementos necesarios para que se realice la combustión es el oxígeno, este es tomado del aire de la atmósfera en el cual está contenido además de otros elementos como el hidrógeno, el nitrógeno y partículas en suspensión; esta acción la realizan los ventiladores de tiro forzado, que por medio de unas compuertas de succión regulan automáticamente el flujo necesario del aire para la combustión. Cada caldera tiene dos ventiladores de tiro forzado, en las calderas CB-1, CB-2, y CB-4, un ventilador es impulsado por turbina de vapor de alta presión y el otro ventilador es impulsado por motor eléctrico; en la caldera CB-3 los dos ventiladores son impulsados por motor eléctrico.

Cada ventilador es capaz de suministrar la cantidad de aire suficiente para más del 100% de carga de la caldera. En operación normal solo opera un ventilador, preferentemente el que es impulsado por la turbina de vapor y el otro ventilador está de relevo, el cual arranca automáticamente en caso de falta de aire o falla del ventilador que está operando; esto solo aplica para los ventiladores impulsados por motor eléctrico, ya que las turbinas no arrancan automáticamente.

c. VENTILADORES DE AIRE PRIMARIO.

Para que se lleve a cabo la combustión es necesario que el combustible, al igual que el aire se encuentren en estado gaseoso y el grado de combustión completo dependerá de lo homogénea que sea la mezcla entre ambos gases (aire y combustible) previo a la combustión.

Esto no sucede con el aceite combustible o combustóleo cuyo estado natural es líquido y por ser residuo de la refinación del petróleo crudo, es de muy alta viscosidad por lo que para que se gasifique es necesario precalentarlo antes de entrar al quemador y en el quemador se atomiza con aire a presión (es decir se trata de que las gotas de combustóleo sean más pequeñas para lograr una combustión más completa) esta última función la cumplen los ventiladores de aire primario y secundariamente este aire da enfriamiento al propio cuerpo del quemador.

Cada caldera cuenta con dos ventiladores de este tipo uno impulsado por turbina de vapor de media presión y el otro por motor eléctrico. Este aire es tomado del ducto de descarga de los ventiladores de tiro forzado antes de la entrada al precalentador de aire-vapor y los ventiladores



de aire primario descargan por medio de unas compuertas que regulan automáticamente la presión a un valor preajustado (set point) a un cabezal común que distribuye el aire a cada uno de los quemadores. En operación normal operan continuamente los dos ventiladores.

d. PRECALENTADOR REGENERATIVO DE AIRE.

El precalentador de aire regenerativo esta instalado entre los ductos de aire para la combustión y el ducto de los gases de combustión saliendo de la caldera, es de forma circular, su operación es dinámica, es decir gira en sentido opuesto a las manecillas de reloj en referencia al flujo de gases de salida de la caldera. Está compuesto de laminillas metálicas agrupadas en canasta de diferentes dimensiones, el lado por donde entran los gases de combustión se le denomina lado caliente y al opuesto lado frío.

Para remover los depósitos sólidos de los gases de combustión en las laminillas del precalentador se utiliza un soplador de hollín que usa vapor de media presión; en las calderas CB-1 y CB-2 se tiene un soplador de hollín por lado frío y otro por el lado caliente, en la caldera CB-3 solo tiene un soplador de hollín por el lado frío; estos sopladores están instalados en el ducto de gases.

Los gases de combustión que salen de la caldera, tienen un importante valor energético por su elevada temperatura (aproximadamente de 350 °C) por lo que antes de llegar a la chimenea, con el propósito de recuperar esta energía residual, esta instalado el precalentador regenerativo de aire; esta energía recuperada es transmitida al aire para la combustión que descargan los ventiladores de tiro forzado, de ahí toma el nombre de regenerativo, ya que el ducto de gases absorbe el calor de los gases de combustión y el ducto de aire cede este calor permanentemente durante la operación de la caldera.

e. CAJA DE AIRE.

El aire de salida del precalentador regenerativo, por medio del ducto de aire llega a la caja de aire, que es el sitio previo a la entrada de la caldera para formar la combustión junto con el combustible. En la parte frontal exterior de la caja de aire se encuentran insertados los quemadores, los pilotos de cada quemador, las mirillas de supervisión de cada quemador y los detectores de flama de cada quemador llegan hasta la boca de fuego o garganta de cada quemador en el horno.



Cada quemador tiene compuertas para regular el flujo de aire de entrada hacia la garganta del quemador, esta regulación se hace manualmente por medio de una manija que esta instalada en la parte frontal exterior del quemador. En la parte superior de la caja de aire esta instalado un ducto que comunica el aire hacia la cámara muerta superior para formar un sello con presión positiva y evitar la entrada de gases a esta.

f. HORNO.

Esta es el área donde se forma la combustión al combinarse el aire, el combustible y la fuente de calor y es el área de mayor transferencia de calor por radiación de la flama.

g. SISTEMA AGUA DE ALIMENTACION.

El flujo de agua de alimentación que es enviada por las bombas 219-P, 219-PAT, 219-PB, 219-PC, 219-PD y 243-PAT, llega a la caldera y es regulada por una válvula automática que tiene la función de mantener el nivel del domo de vapor de la caldera a un valor preestablecido por medio de un punto de ajuste (set point).

h. DOMO DE VAPOR.

En el domo de vapor se efectúan algunas de las más importantes funciones de una caldera: es donde se recibe y distribuye el agua de alimentación por medio de un cabezal interior y mamparas, es donde se separa el vapor húmedo del vapor saturado por medio de elementos llamados separadores de humedad del tipo ciclónico y de laminillas y su salida al sobrecalentador, es donde se controla la concentración de la caldera por medio de la purga continua. Aquí también están instaladas dos válvulas de seguridad (PSV) que protegen a la caldera de sobrepresiones, además cuentan con tres venteos para eventos de paro y arranque de la caldera, tres tomas de indicación de nivel, tomas de muestreo del vapor saturado y cabezal para la dosificación de reactivos químicos.

i. DOMO DE LODOS

En este recipiente, que es la parte más baja de la caldera, se depositan los sólidos disueltos en el agua de la caldera, los cuales son extraídos por medio de dos purgas que tiene en la parte inferior. Estos sólidos se forman por la acción de los reactivos químicos dosificados y algunos que se filtran por el agua de alimentación.



j. SOBRECALENTADOR

El vapor saturado que sale del domo de vapor entra al sobrecalentador, donde el calor de los gases de combustión que fluyen por esta zona incrementan su temperatura. El sobrecalentador se divide en dos pasos o secciones denominadas sobrecalentador primario y sobrecalentador secundario. Con respecto al sentido del flujo de los gases de combustión el sobrecalentador secundario se encuentra primero y después el sobrecalentador primario. En la salida del sobrecalentador secundario esta instalada una válvula de seguridad (PSV) que protege a la unidad de sobrepresiones y cuenta con un venteo y una purga para eventos de paro y arranque de la caldera, más adelante en este mismo cabezal se encuentra la válvula de no retorno (STOP CHECK) que es la salida de vapor y protege a la caldera de flujos inversos.

k. ATEMPERACIÓN.

El sobrecalentador se divide en dos pasos: el sobrecalentador primario y el sobrecalentador secundario y en la comunicación entre ambos se encuentra el cabezal de atemperación donde esta instalada una o dos esperas para atomización. Para tal efecto se usa condensado recuperado, reciclado y deareador; en el deareador ED-200 con una temperatura de 120 °C, el flujo de este condensado es regulado por medio de una válvula automática de acuerdo a un valor preajustado (set point) cuyo valor de diseño es de 482 °C de vapor saliendo del sobrecalentador secundario. El cabezal de atemperación cuenta también con un venteo y una purga para los eventos de paro y arranque de la caldera.

l. CABEZAL DE SALIDA DE VAPOR SOBRECALENTADO.

Después de la válvula de no retorno (stop shock) salida de vapor del sobrecalentador secundario, el vapor sigue hasta el cabezal general de vapor por medio del cabezal de vapor sobrecalentado, en este cabezal esta instalada la instrumentación para monitorear el estado final de vapor como presión, temperatura y flujo; antes de llegar al cabezal general de vapor de alta esta instalada una válvula que es accionada por medio de un motor eléctrico controlada desde el cuarto de control y hace la función de aislar la caldera en eventos de paro normales y de emergencia. Para eventos de paro y arranque esta moto válvula tiene una válvula de calentamiento (by-pass) y el cabezal dos purgas y un venteo.



m. SISTEMA DE GAS COMBUSTIBLE.

El gas combustible que es usado para la generación de vapor llega del cabezal general de la refinería y puede ser del troncal del sistema (gas natural) o del obtenido por el proceso del petróleo crudo en las plantas. Este gas combustible es recibido en la planta de fuerza en un tanque de balance 283-V (recipiente cilíndrico vertical), regulando la presión de entrada al tanque por una válvula automática de acuerdo a un valor predeterminado por un punto de ajuste (set point) que generalmente es de 3.5 kg./cm². Del tanque se distribuye hacia las calderas CB-1, CB-2, CB-3 y CB-5, la caldera CB-4 recibe el gas del mismo cabezal que el de la planta Catalítica 1, el tanque como protección contra sobrepresión cuenta con una válvula de seguridad que desfoga al cabezal general de desfogues de la refinería.

El sistema de gas combustible a quemadores esta compuesto por un medidor-transmisor de flujo, una válvula de cierre rápido o de corte, una válvula de control de flujo en paralelo con una válvula de flujo mínimo, un actuador con dos válvulas macho de entrada de gas a cada quemador, seis quemadores y una válvula de venteo del cabezal general de descarga a la atmósfera.

El sistema de gas a pilotos esta compuesto por una válvula auto regulable, una válvula de cierre rápido o de corte, dos válvulas solenoides en serie y en medio de estas, otra válvula solenoide de venteo, un piloto para cada quemador y una válvula de venteo del cabezal. Este sistema provee la fuente de calor inicial para encender un quemador.

n. SISTEMA DE ACEITE COMBUSTIBLE.

Este combustible en su estado natural es líquido por lo que es necesario acondicionarlo para que se consuma lo más completamente posible y no dejen de existir riesgos importantes en el manejo del mismo.

El sistema de combustóleo esta compuesto de un medidor transmisor de flujo, una válvula de cierre rápido, una válvula de control de flujo en paralelo con una válvula de flujo mínimo, una válvula igualadora de presión entre los diferentes niveles de quemadores (para CB-1, CB-2 y CB-3 es una válvula y para CB-4 son dos válvulas), una válvula para cada quemador, seis quemadores, una válvula de recirculación, una válvula de vapor de lavado para cada quemador y



una válvula de vapor de lavado general. El vapor que se usa para lavado de la lanza de quemadores de combustóleo es de baja presión.

o. SOPLADORES DE HOLLÍN.

La combustión completa solo es posible teóricamente y podría aproximarse en un laboratorio experimental, ya que se deben de conjugar condiciones muy específicas para conseguirlo, por lo que todo proceso de combustión además de aportar calor, también libera componentes con combustión incompleta (escoria).

Los sopladores de hollín son equipos que se utilizan para mantener limpias las superficies de intercambio de calor en determinadas áreas de la caldera durante su operación; para cumplir esta función emplean vapor de media presión que es inyectado sobre las superficies de los tubos por medio de toberas instaladas en lanzas de los sopladores de hollín que se introducen en el interior de la caldera.

p. BANCO GENERADOR.

En esta área de la caldera los gases de combustión, ya disminuida su temperatura, siguen una trayectoria determinada por la colocación de un sello de ladrillo refractario y de membranas de la tubería de la pared posterior que obliga a los gases a recorrer todo el banco generador antes de salir de la caldera para aprovechar al máximo el calor residual, por lo que es necesario mantener la superficie de los tubos limpia para favorecer el intercambio de calor más eficientemente. Para esto están instalados por toda la trayectoria que siguen los gases de combustión sopladores de hollín. Para las calderas CB-1, CB-2 y CB-3 están instalados diez sopladores de hollín fijos denominados G9B-5 al 14; para la caldera CB-4 están instalados seis sopladores retráctiles.

4. EQUIPOS AUXILIARES.

a. TURBOGENERADORES.

Los turbogeneradores cuentan con varios equipos auxiliares para su confiable y segura operación como la torre de enfriamiento, compresores de aire y la distribución de energía eléctrica. Los turbogeneradores son el TG-201 y TG-202 con tecnología de SIEMENS.



- SISTEMA DE LUBRICACION.

El sistema de lubricación de un turbogenerador es una de las partes más importantes para su operación porque es con lo que se lubrican las chumaceras y se controla la turbina. El sistema de lubricación de cada turbogenerador cuenta con un carter para el aceite con una capacidad de 9000 L. Dos enfriadores de aceite y dos filtros para el aceite. Una bomba principal de aceite acoplada, una motobomba auxiliar de aceite de corriente directa, una bomba de levante, un extractor de vapor de aceite y una turbina hidráulica de torna flecha.

También cuentan con un depósito de aceite común para ambos turbogeneradores el 286-V que sirve para reponer aceite a los turbogeneradores y para purificar el aceite recirculándolo conectado a una bomba wesfalia cuando un turbogenerador está fuera de operación. Con este equipo se suministra el aceite necesario y en forma continua para la normal y continua operación del turbogenerador.

- SISTEMA DE ENFRIAMIENTO.

El enfriamiento en el turbogenerador es de suma importancia por que nos permite controlar las temperaturas dentro de los rangos normales de operación. El enfriamiento en el turbogenerador es por medio de agua la cual llega desde la torre de enfriamiento 201-T. Al entrar al área de los turbogeneradores se distribuye hacia el condensador principal a los enfriadores de aire del generador, enfriadores de aceite y a la turbo bomba de condensado.

b. TORRE DE ENFRIAMIENTO.

La torre de enfriamiento es un conjunto de accesorios utilizados para enfriar el agua que se emplea en las áreas de proceso de la Refinería.

Las partes que componen una torre de enfriamiento son:

- ◆ Celdas de captación que se utilizan para acumular el nivel de agua suficiente para que las bombas operen normalmente.
- ◆ Estructura que es el arreglo interno de la torre para hacer o lograr una distribución uniforme de la torre de enfriamiento.
- ◆ Tuberías con un gran diámetro de dimensión para que halla suficiente flujo para la evaporación, retrolavado, etc.
- ◆ Ventiladores para eliminar el aire caliente de la torre.
- ◆ Bombas impulsadas por turbina o motor eléctrico para recircular el agua de la torre a los equipos y de los equipos a la torre.



◆ Depósitos para la dosificación de reactivos.

La torre de enfriamiento 201-T es la encargada de suministrar el agua de enfriamiento que se requiere para los diferentes procesos de la planta de fuerza, cuenta con cinco ventiladores y cinco bombas impulsadas por motor y una impulsada por turbina de vapor. La torre esta dividida en cinco celdas una para cada ventilador y con su válvula para bloquear individualmente cada celda en caso requerido. Un tanque para dosificar ácido a la pileta y controlar su pH, un cilindro de cloro para clorar el agua de la pileta. Los ventiladores se energizan desde la subestación eléctrica No. 2 de los CCM 201 y 202 de 480 volts. Los motores eléctricos desde la misma subestación de los TA-201-(2-3) y 201-(2-4) de 4160 volts.

c. COMPRESORES DE AIRE.

La planta de fuerza suministra las áreas de la refinería por medio de dos cabezales de aire de instrumentos y cabezal de aire de plantas. El aire lo proporcionan cuatro compresores impulsados por motor eléctrico y uno impulsado por turbina de vapor, su denominación son 0250-KM, 0250-KA, 0259-K, 0259-KAT, 0259-KBM. Cada compresor cuenta con un juego de válvulas para poder comunicarlo al aire de instrumentos o al aire de plantas.

Los compresores que están alineados al aire de instrumentos envían el aire a los tanques de balance 0224-V y 0269-V, de ahí se envía a un juego de secadoras de aire las 0282-L, 0254-L, 0290-L. De ahí pasa al cabezal de aire de instrumentos y se distribuye a las áreas de la refinería. El compresor que esta alineado al aire de plantas envía el aire al tanque de balance 0255-V. De ahí al cabezal de aire de plantas para su distribución en la refinería.

El aire ambiente pasa a través de unos filtros instalados en la línea de succión y controlado por una válvula automática, que garantiza el flujo y presión lo mas constante posible, el aire es acelerado por el primer impulsor, un difusor radial convierte la velocidad del aire en presión, antes de que el aire entre en la carcasa de la voluta de alta eficiencia para ser conducción a través de la tubería de interconexión hacia el primer inter enfriador, el aire enfriado fluye hasta el segundo impulsor y otra vez es acelerado para que nuevamente se convierta la velocidad del aire en presión y posteriormente pase hasta el segundo interenfriador. El aire continúa desde el segundo interenfriador hasta el tercer impulsor y el difusor lo descarga a través de la voluta hasta el post enfriador, este cuenta con un ciclón que separa la humedad condensada del aire enfriado utilizando una válvula de purga. Los compresores eléctricos se energizan desde la subestación eléctrica No 2 de los TA-201-(2-3) y 201-(2-4) de 4160 volts.



5. GENERACIÓN ELÉCTRICA.^{5y6}

La generación eléctrica de la Refinería es por medio de los dos turbogeneradores, (mencionados anteriormente) de 32 MW's y a 13-8 KV con una presión de vapor de 60 Bar y una temperatura de 480 °C. A través de dos tableros de distribución TDP-1 y TDP-2. Un enlace con CFE para casos de emergencia de hasta 16MW; a través del tablero de distribución TDP-3. Estas dos fuentes de energía PEMEX-CFE pueden ser sincronizadas a través de reactores y un tablero de sincronización (TBS).

Los tableros TDP-1 y TDP-2 suministran energía hacia las subestaciones a través de sus interruptores:

TDP-1 (BUS-A)=INTERRUPTORES A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8, A-9 A-10, A-11.

TDP-2 (BUS-B)=INTERRUPTORES B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, B-8, B-9 B-10, B-11.

La distribución de las subestaciones de la Refinería es a través de cables por ductos subterráneos, en 13.8 KV. En cada subestación se cuenta con doble alimentación primaria con secundario selectivo y un interruptor de enlace en 4.16 KV, conformándose así una red con suficiente flexibilidad para la distribución de energía eléctrica.

E. ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?), LISTA DE VERIFICACIÓN Y HAZOP.

1. ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?) Y CHECK LIST (LISTA DE VERIFICACIÓN)

Se realizaron análisis What if...? (¿Qué pasa si...?), en la planta de tratamiento de agua y en la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica en los circuitos seleccionados por los integrantes del análisis para identificar peligros, situaciones peligrosas o secuencias específicas.

- ◆ Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01; en la plata de tratamiento de agua.
- ◆ Caldera (26-B-001A-B) y caldera (26-B-002A-B).
- ◆ Calderas CB-1, CB-2 CB-3, CB-4, CB-5.
- ◆ Generación y distribución de energía eléctrica.
- ◆ Lista de verificación de la planta de fuerza y servicios auxiliares en la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica

⁵ Manual de operación. op. cit. supra, Nota 1.

⁶ Curso para operadores. op. cit. supra, Ntota 3.



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 11 y tabla 12 para determinar en orden jerárquico, las recomendaciones y definir el índice de riesgo del evento con la ayuda de las matrices de riesgos (Figuras 7 y 8).

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 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 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 o no del riesgo, o 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 o 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:

NUM.	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 11. Tabla de frecuencias.

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



NUM.	GRAVEDAD	ASPECTO	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 12. 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.

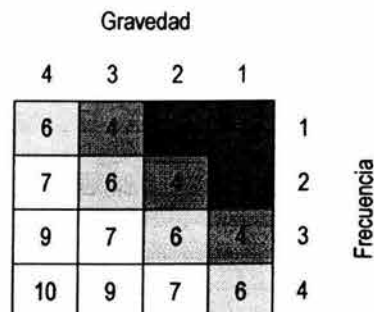


Figura 7. Matriz de riesgos.



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 8 y tabla 13).

		Gravedad				
		4	3	2	1	
Frecuencia	C	B	C	D	D	1
	D	C	D	D	D	2
	D	D	D	D	D	3
	D	D	D	D	D	4

Figura 8. Matriz de clases de riesgo.

NUM	CLASE	DESCRIPCIÓN	SEGUIMIENTO
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 13. Clases de riesgo.

3. NODOS SELECCIONADOS PARA EL ESTUDIO HAZOP

Los nodos de estudio para el análisis HazOp fueron las modificaciones en líneas y equipos que se han implementado en la planta de fuerza y servicios auxiliares, se estudiaron 9 nodos en la planta de fuerza y servicios auxiliares, 6 nodos en la planta de tratamiento de agua y 3 en la sección de generación de vapor que se describen en la tabla 14.



PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	
1	Tanque almacenamiento de ácido sulfúrico, 0256-V.
2	Tanque acumulador de ácido sulfúrico (Tanques de día de UDA 1: THA-300, UDA 2: 0266-V y UDA 3: 0204-V).
3	Tanque acumulador de sosa cáustica, 257-V.
4	Manejo y dosificación de cloro anhidro, en torres de enfriamiento de agua.
5	Tanques de almacenamiento de sosa cáustica, TV-1/1A/1B.
6	Tanque de almacenamiento de ácido sulfúrico TV-2.
SECCIÓN DE GENERACIÓN DE VAPOR Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA (PLANTA DE FUERZA)	
1	Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado (MDO).
2	Tanques de almacenamiento de combustible 250-V y 251-V.
3	De las bombas 218-P/PA/PC, a los quemadores de las calderas CB-1, CB-2, CB-3 y CB-4.

Tabla 14. Nodos de la planta de fuerza y servicios auxiliares a los que se les aplicó la técnica HazOp.

4. 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 planta de fuerza y servicios auxiliares.
- ◆ De bibliografía reportada de fallas similares, etc.

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, al sumarse darán una probabilidad mayor, sin embargo esta sería 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 suma de los eventos raíz.



Primero se enumera a cada evento no desarrollado como M_i y a los eventos básicos como B_i , donde i es el número secuencial del evento. De un lado de la ecuación está 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.

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

5. CONSIDERACIONES PARA EL ESTUDIO DE ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

A continuación se describen las consideraciones para la simulación y obtención de resultados del análisis de consecuencias:

1. - Para la generación de eventos se utilizaron las siguientes fuentes:

- Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HazOp.
- El registro de incidentes y accidentes de la planta.

2. - Las composiciones de las mezclas consideradas para este estudio, fueron tomadas de los balances de materia obtenidos de los diagramas de flujo de proceso (DFP) de la planta.

Adicionalmente, para realizar las simulaciones en el software PHAST se tomaron las siguientes consideraciones:

- El orificio formado por corrosión en bridas, sellos 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); para todos los escenarios se considera un orificio de 0.50 de diámetro.
- Las condiciones de presión y temperatura se tomaron de los diagramas de flujo de proceso de cada equipo.



- c) Se contempló un tiempo máximo para la detección y control de la fuga de 10 minutos, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo máximo para la detección del evento por parte del personal de PEMEX y tiempo que requiere el personal de mantenimiento u operación para llegar al lugar exacto de la fuga y controlarla.
- d) Se consideró para las condiciones de Cadereyta una temperatura ambiental media del área de 27 °C, temperatura máxima de 40 °C y una humedad relativa media anual de 67%.
- e) Para determinar los radios de afectación por materiales tóxicos, radiación térmica y por niveles de sobrepresión se toma como base los criterios establecidos por la INE (Instituto Nacional de Ecología), en las tablas siguientes se indican tales criterios:

	TOXICIDAD (CONCENTRACIÓN)	INFLAMABILIDAD (RADIACIÓN TÉRMICA)	EXPLOSIVIDAD (SOBREPRESIÓN)
Zona de Alto Riesgo	IDLH	5 KW/m ² o 1,500 BTU/Pie ² h	1.0 lb/plg ² o 0.07 bar
Zona de Amortiguamiento	TLV ₈ o TLV ₁₅	1.4 KW/m ² o 440 BTU/Pie ² h	0.50 lb/plg ² o 0.035 bar

Tabla 15. Criterios por el INE para análisis de riesgos.

Además se determinan afectaciones para puntos de interés. Las zonas de alto riesgo y amortiguamiento son presentados en forma gráfica en el diagrama de localización de equipos de la planta o en el de la Refinería cuando se tienen zonas de afectación que alcance a plantas vecinas.

Niveles de toxicidad, para plan de respuesta a emergencias.

Se ha clasificado para tres niveles de concentración en el ambiente y como resultado se tiene tres niveles de plan de respuesta de a emergencia, cuyas definiciones son:

1. **ERPG1.** Máxima concentración en el aire donde las personas pueden estar expuestas cerca de 1 hora sin experimentar o desarrollar efectos a la salud más severos que la percepción sensorial o ligera irritación
2. **ERPG2.** Máxima concentración en el aire bajo la cual es posible que las personas puedan estar expuestas cerca de 1 hora sin experimentar o desarrollar serios efectos irreversibles a la salud o síntomas que podrían dañar la habilidad de una persona para protegerse.



3. ERPG3. Máxima concentración en el aire bajo la cual es posible que las personas puedan estar expuestas cerca de 1 hora sin experimentar o desarrollar daños a la vida.

En las tablas siguientes se muestran efectos por diferentes niveles de radiación térmica y sobrepresión, para personas y a instalaciones.

RADIACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.4 Kw/m² (440 BTU/h/ft²)	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este límite se considera como zona de Amortiguamiento
5.0 kW/m² 1,268 BTU/h/ft²)	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2º grado sin la protección adecuada. Esta radiación será considerada como límite de zona de Alto Riesgo.

Tabla 16. Niveles de radiación⁷

PRESIÓN	DESCRIPCIÓN
0.5 psi (0.035 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 Amortiguamiento.
1 psi (0.07 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 Alto Riesgo.

Tabla 17. Niveles de sobrepresión



**CAPÍTULO II
TRABAJO EN CAMPO**



PRESION (psig)	EVALUACION DE DAÑOS POR EXPLOSIONES	
	REFINERIAS	PLANTAS
0.5	- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): rotura de ventanas.	- Cuarto de control (techo metálico): rotura de ventanas y medidores. - Cuarto de control (techo de concreto): rotura de ventanas y medidores. - Torre de enfriamiento: falla de mamparas
1.0	- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): deformación de la estructura.	- Cuarto control (techo metálico): conectores dañados por colapso del techo. - Cuarto de control (techo de concreto): dañados por colapso del techo. - Tanques de almacenamiento (techo cónico): colapso del techo.
2.0		- Calentador: fractura de ladrillos. - Reactor químico: rotura de ventanas y medidores. - Filtros: falla de paredes de concreto.
3.0	- Edificio de mantenimiento: deformación.	- Tanque de almacenamiento (techo cónico): el equipo se levanta (llenado al 50%). - Cubículo de instrumentos: líneas de fuerza dañadas, controles dañados.
5.0	- Torre de regeneración: deformación de la columna. - Edificio de mantenimiento: derrumbe de muros de tabique, deformación de la estructura. - Tuberías: derrumbe de la estructura y rompimiento de líneas. - Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad.	- Calentador: unidad destruida. - Regenerador: marcos colapsados. - Motor eléctrico: daño por proyección de partículas. - Ventilador: carcaza y caja dañadas.
7.0	- Torre rectangular (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre. - Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura. - Torre fraccionadora: (montada sobre pedestal de concreto) caída de la torre. - Torre de regeneración derrumbe de la estructura y la torre. - Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura, (estructura de acero) caía de la torre. - Tanques de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques llenos.	- Reactor catalítico: partes internas dañadas. - Columna fraccionadora: unidad destruida.
10.0	- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): derrumbe de estructura de hierro.	- Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida. - Transformados eléctrico: unidad destruida. - Ventilador: unidad destruida. - Regulador de gas: controles dañados, carcaza y caja dañadas. - Columna de extracción: la unidad se mueve de sus cimientos.
20.0		- Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.
30.0		- Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos. - Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.

Tabla 18. Daños en plantas y refineries.



Resultados y
discusión.

CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



Capítulo III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. 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 se utilizan en el presente estudio, será de acuerdo al criterio de disponibilidad de herramientas para efectuarlo, al alcance y tipo de resultados. La selección de las técnicas para realizar el análisis de riesgos de una planta de fuerza y servicios auxiliares es la siguiente:

- ◆ What if...? (Qué pasa sí...?).
- ◆ Check list (lista de verificación).
- ◆ HazOp
- ◆ Árbol de fallas
- ◆ Análisis de Consecuencias

Se escogieron estas cinco técnicas, porque se pueden usar para hacer el análisis en la etapa de operación de la planta. Cuatro de estas 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. Una de ellas la técnica "Lista de Verificación" es una técnica comparativa la cual se basa en la experiencia a acumulada que se tiene en la operatividad del proceso y esta técnica nos arroja resultados cualitativos.

B. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ANÁLISIS WHAT IF...? (QUE PASA SÍ...?), CHECK LIST (LISTA DE VERIFICACIÓN) Y HAZOP.

A continuación se presenta uno de los circuitos realizados con la técnica What if...? (¿Qué pasa sí...?) en la sección de generación y distribución de energía eléctrica para ejemplificar y hacer referencia del estudio:

- ◆ Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.

ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?)

Planta: Tratamiento de agua

Circuito/Equipo: Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.

Fecha: 29 de octubre de 2003.

Intención de Diseño: Disminuir la temperatura del agua de enfriamiento de las plantas de proceso de la Refinería.

Diagramas:

Producto: Agua de enfriamiento.

QUÉ PASA SI (WHAT IF)	CONSECUENCIA/RIESGO	PROTECCIÓN	RECOMENDACIÓN
1. Falla una bomba de suministro de agua de enfriamiento.	1. Bajo flujo a la planta. 2. Baja en la carga de la plantas de proceso. 3. Taponamiento en tubería de equipos de intercambios de calor, por depósitos de sólidos suspendidos presentes en el agua de enfriamiento.	1. Se cuenta con bomba de relevo. 2. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 3. Indicadores de presión en la descarga de las bombas. 4. Indicador de presión y flujo en el límite de baterías de la plantas. 5. Monitoreo de flujos por compañía. 6. Programa de rotación de equipo dinámico.	1. Mantener disponible la bomba de relevo de las torres de enfriamiento de agua. 2. Continuidad al seguimiento del programa de rotación de equipo dinámico. 3. Reemplazar las turbinas por motores eléctricos en las torres de enfriamiento de agua.

ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?)

Planta: Tratamiento de agua

Circuito/Equipo: Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.

Fecha: 29 de octubre de 2003.

Intención de Diseño: Disminuir la temperatura del agua de enfriamiento de las plantas de proceso de la Refinería.

Diagramas:

Producto: Agua de enfriamiento.

QUÉ PASA SI (WHAT IF)	CONSECUENCIA/RIESGO	PROTECCIÓN	RECOMENDACIÓN
2. Fallan los ventiladores.	1. Se incrementan las temperaturas de agua de enfriamiento de suministro a las plantas. 2. Disminución en la eficiencia de enfriamiento en los equipos de las plantas de proceso.	1. Programa de mantenimiento preventivo a ventiladores. 2. Indicadores de temperatura en el cabezal de suministro de agua de enfriamiento de plantas. 3. Indicadores de temperatura en la entrada y salida de los equipos de proceso que son enfriados con agua.	1. Tener disponible refaccionamiento (reductores de velocidad, carrete de acoplamiento, motor) para los ventiladores de las torres de enfriamiento de agua. 2. Rehabilitar dos ventiladores faltantes en la torre de enfriamiento de agua 1601-T.
3. Falla la energía eléctrica.	1. Paro de plantas.	1. La subestación de cada planta cuenta con doble alimentador principal. 2. Procedimientos operacionales para restablecer la energía eléctrica y enlace con CFE.	1. No hay.

ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?)**Planta:** Tratamiento de agua**Circuito/Equipo:** Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.**Fecha:** 29 de octubre de 2003.**Intención de Diseño:** Disminuir la temperatura del agua de enfriamiento de las plantas de proceso de la Refinería.**Diagramas:****Producto:** Agua de enfriamiento.

QUÉ PASA SI (WHAT IF)	CONSECUENCIA/RIESGO	PROTECCIÓN	RECOMENDACIÓN
4. Hay presencia de hidrocarburos en el agua de enfriamiento.	<ol style="list-style-type: none">1. Desestabilización del tratamiento químico.2. Incrustación e incremento en la corrosión en las líneas y equipos de agua de enfriamiento.3. Atmosfera explosiva en la torre de enfriamiento.4. Baja de producción en algunas plantas.	<ol style="list-style-type: none">1. Rutinas de monitoreo en las condiciones fisicoquímicas del agua de enfriamiento.2. Prueba de permanganato de potasio y prueba de explosividad.3. Prueba de toxicidad.4. Tomas de muestra adecuadas a la salida de los intercambiadores de calor.	<ol style="list-style-type: none">1. Instalar indicadores de temperatura y presión en entradas y salidas de equipos de las plantas de proceso que lo requieran y utilicen agua de enfriamiento.2. Verificar la hidráulica del sistema para evitar flujos preferenciales e incrustaciones líneas y en los equipos.

ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?)

Planta: Tratamiento de agua

Circuito/Equipo: Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.

Fecha: 29 de octubre de 2003.

Intención de Diseño: Disminuir la temperatura del agua de enfriamiento de las plantas de proceso de la Refinería.

Diagramas:

Producto: Agua de enfriamiento.

QUÉ PASA SI (WHAT IF)	CONSECUENCIA/RIESGO	PROTECCIÓN	RECOMENDACIÓN
5. Hay baja temperatura ambiente.	1. Se sacan de operación los ventiladores necesarios.	1. Se deja circulando el agua de enfriamiento de la caja de baleros a drenaje para asegurar el flujo.	1. La lubricación de las cajas de baleros de las bombas de las torres de enfriamiento, deberá ser por niebla.
6. Se suspende la inyección de cloro anhidro.	1. Crecimiento bacteriológico en todo el sistema de enfriamiento, con incremento en la corrosión por ataque bacteriológico.	1. Dosificación continua de cloro. 2. Dosificación de biocidas periódicas alternados.	1. Continuar con el programa de dosificación de cloro anhidro y de biocidas, en las torres de enfriamiento de agua.
7. Se asolvan los cárcamos de las celdas de la torre.	1. Envío de lodos a sistemas de intercambio de calor de plantas de proceso. 2. Ensuciamiento y disminución de la eficiencia térmica de los equipos. 3. Crecimiento bacteriológico e incremento de la corrosión en el sistema.	1. Programa de purgado de lodos del fondo de las celdas de las torres de enfriamiento de agua. 2. Programa de mantenimiento anual de las celdas de las torres de enfriamiento de agua.	1. Continuar con la aplicación del programa de purgado de lodos del fondo de las celdas de las torres de enfriamiento de agua.

ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?)

Planta: Tratamiento de agua

Circuito/Equipo: Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.

Fecha: 29 de octubre de 2003.

Intención de Diseño: Disminuir la temperatura del agua de enfriamiento de las plantas de proceso de la Refinería.

Diagramas:

Producto: Agua de enfriamiento.

QUÉ PASA SI (WHAT IF)	CONSECUENCIA/RIESGO	PROTECCIÓN	RECOMENDACIÓN
8. El agua de enfriamiento se envía a muy alta temperatura.	1. Pérdida de eficiencia en el intercambio de calor en las plantas.	1. Programa de mantenimiento preventivo a ventiladores.	1. Continuar con la aplicación del programa de mantenimiento preventivo a ventiladores. 2. Contar con refaccionamiento (reductores de velocidad, carrete de acoplamiento, motor) para los ventiladores de las torres de enfriamiento.
9. Baja el flujo de agua.	1. Incremento del ensuciamiento del sistema. 2. Pérdida de eficiencia en el intercambio de calor en las plantas. 3. Aumento en la corrosión.	1. Indicadores de presión en descarga de bombas y en cabezal de suministro. 2. Medidores de flujo en las plantas de proceso, en límite de baterías.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Continuar con el programa de rotación de equipo dinámico

ANÁLISIS WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SI...?)

Planta: Tratamiento de agua

Circuito/Equipo: Torres de enfriamiento 100A/B/C, 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.

Fecha: 29 de octubre de 2003.

Intención de Diseño: Disminuir la temperatura del agua de enfriamiento de las plantas de proceso de la Refinería.

Diagramas:

Producto: Agua de enfriamiento.

QUÉ PASA SI (WHAT IF)	CONSECUENCIA/RIESGO	PROTECCIÓN	RECOMENDACIÓN
10. Se suspende la dosificación de ácido sulfúrico.	1. Aumenta el pH. 2. Incrustación de sólidos en suspensión y corrosión en el sistema de enfriamiento.	1. Control de inventario de ácido. 2. Bomba de relevo disponible. 3. Programa de dosificación de ácido.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Continuar con el programa de rotación de equipo dinámico
11. Se daña el reductor de velocidad del ventilador.	1. Se puede dañar la flecha y base de anclaje del motor.	1. Protección por sobrecarga del motor.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Contar con refaccionamiento (reductores de velocidad, carrete de acoplamiento) para los ventiladores de las torres de enfriamiento de agua.



También en la planta de fuerza y servicios auxiliares (sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica) se realizó un estudio con la técnica lista de verificación para comparar el estado del sistema con una referencia externa, identificando carencias de seguridad o áreas que requieren un estudio más profundo. A continuación se muestra el análisis realizado.

**Planta de fuerza y servicios auxiliares.
LISTA DE VERIFICACIÓN.**

A = Ya se ha tenido en cuenta.

B = No es aplicable.

C = Requiere un estudio con mayor profundidad.

INSTRUMENTACIÓN Y CONTROL		A	B	C
1	¿Los instrumentos críticos para la seguridad del proceso han sido identificados con sus puntos de alarma establecidos?	√		
2	¿Se comprueba regularmente el funcionamiento de las alarmas, equipos de protección, equipos de puesta en marcha automática e instrumentación en general? ¿Se comprueba regularmente el correcto funcionamiento de las luces testigo e indicadores en el panel de control?	√		
3	¿La información desplegada a los operadores es clara y entendible?	√		
4	¿Existe una política adecuada para el establecimiento y cambio de los parámetros de control, así como para el control manual de algunas operaciones?	√		
5	¿Están todas las alarmas críticas audibles y visibles fácilmente accesibles al operador?	√		
6	¿Están los operadores provistos de información para diagnosticar cuando una alarma falla?	√		
7	¿Es fácil el uso de todos los controles, del sistema de control?	√		
8	¿Son los instrumentos y pantallas reparados después de una falla?	√		
9	¿Se puede verificar que los paquetes de instrumentación han sido instalados y diseñados a las condiciones climatológicas del área y de acuerdo a la clasificación eléctrica?	√		
10	¿Se utiliza en cada caso equipo del estándar adecuado para el servicio que presta? ¿Se revisa regularmente el estado del equipo incluyendo cableados?	√		
11	¿Se encuentra el sistema de tierras de instrumentos separada de la planta?	√		
12	¿Se han estimado posibles retrasos en la respuesta de los distintos equipos? ¿Cuáles son las consecuencias?	√		
13	¿Se han previsto los efectos sobre el control de la planta en el caso de que un instrumento sea retirado del servicio para mantenimiento?	√		
14	¿Se ha previsto el sistema de parada en caso de pérdida de corriente eléctrica o aire de instrumentos? ¿Cómo afecta al control de la planta?	√		



	MATERIAL, EQUIPOS Y PROCESO	A	B	C
15	¿Se ha previsto el almacenamiento adecuado de materiales especiales o inestables? ¿Se han segregado del resto? ¿Hay materiales que exijan un equipo especial para su manejo?	√		
16	¿Existen materiales o productos que puedan ser afectados por condiciones meteorológicas extremas?	√		
17	¿Todas las materias primas y productos están adecuadamente clasificados y etiquetados?	√		
18	¿Los materiales que constituyen los equipos son adecuados a las condiciones de proceso?	√		
19	¿Existe posibilidad de confinamiento de vapores en determinadas zonas?		√	
20	¿Se han identificado todas las características de peligrosidad de las sustancias utilizadas? (Temperatura de auto ignición, punto de destello, límites de inflamabilidad, posibilidad de descomposición espontánea, reactividad, efecto de impurezas, posibilidad de reacciones fuera de control, reacciones secundarias, características de corrosividad y compatibilidad, toxicidad, etc.)		√	
21	¿Se ha considerado la posible exposición del personal o del público a los agentes adversos en cada una de las instalaciones? (Productos químicos por vía respiratoria, oral o dérmica. Polvo y humos, radiaciones nocivas, ruido, agentes biológicos, etc.) ¿Se requiere el uso de campañas extractoras para humos, polvos, vapores? ¿Se requiere el uso de equipos de protección personal?		√	
22	¿Se ha previsto la posibilidad de generación de cargas estáticas? ¿Cuál es la conductividad de los materiales usados y cuales sus características de acumulación de carga eléctrica? ¿Se ha realizado una forma de tierra adecuada?	√		
23	¿Se requiere protección contra las explosiones? ¿Se ha verificado la adecuación de los sistemas de alivio de presión, detectores de atmósferas explosivas, etc.? ¿Los venteos están dirigidos en dirección apropiada? ¿Se ha tenido en cuenta la posibilidad de contrapresiones?	√		
24	¿En los sistemas de disco de ruptura/válvula de alivio, se han protegido de la posibilidad de taponamiento por causa de los discos de ruptura? ¿Se han instalado medidores de presión entre uno y otra?	√		
25	¿Es necesario tomar precauciones para un vaciado de recipientes, reactores, etc., en caso de emergencia?		√	
26	¿Se han tenido en cuenta los factores de seguridad para presiones, temperaturas, flujos, niveles u otras variables de proceso?	√		
27	¿Pueden generarse condiciones peligrosas a causa de una falla mecánica?	√		
28	¿Se ha identificado cuáles son las principales oportunidades para fallas humanas y cuales son las consecuencias?	√		



CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN



	MATERIAL, EQUIPOS Y PROCESO (continuación)	A	B	C
29	¿Se han tenido en cuenta las consecuencias de la falla de uno o más servicios? (Electricidad, vapor, agua, gas, etc.)	√		
30	¿Se han previsto protección al personal de partes móviles y superficies calientes de cualquier tipo?	√		
31	¿Están las purgas bien localizadas y las entradas hombres bien localizadas y del tamaño adecuado para limpieza, acceso a mantenimiento y ayudar al personal en recipientes durante una emergencia?	√		
32	¿Se monitorea la vibración de los equipos?	√		
33	¿Se tiene detectados los niveles de ruido por áreas?	√		
34	¿Las especificaciones de los materiales empleados en reparaciones están acorde a las de diseño?	√		
35	¿Cuentan las línea con protección anticorrosiva?	√		
36	¿Podría colapsarse la tubería por condiciones de vacío?			√
37	¿La tubería es vulnerable a esfuerzos por corrosión?	√		
38	¿Se ha realizado relevado de esfuerzos en los tramos de tubería que así lo requieran?	√		
39	¿Existen conexiones flexibles que se pudieran doblar o romper?	√		
40	¿Ha sido analizada la tubería por tensiones y movimientos debido a expansiones térmicas y vibración?	√		
41	¿Se cuenta con las protecciones para líneas que descargan vapor con puntos de ebullición o evaporación súbito a la atmósfera?	√		
42	Es identificado el contenido de las líneas	√		
43	Se encuentran indicados los sentidos de flujo de las líneas	√		
44	Existen válvulas check u otras conexiones para prevenir flujo inverso	√		
45	Existen conexiones con dispositivos o tapones para usarse de manera temporal	√		
46	Las válvulas de venteo cuentan con tapón	√		
47	Los directos de válvulas automáticas son accesibles y son fácilmente operadas por operadores	√		
48	¿Hay válvulas de by-pass abiertas para incrementar flujo?	√		
49	Esta el by-pass diseñado de manera que no colecte sedimentos	√		
50	Existe algún control remoto en el cuarto que asegure el cierre de válvulas de emergencia.	√		
51	En las pantallas del SCD se indica la posición de las válvulas	√		
52	¿Se cuenta con válvulas de bloqueo para mayor protección para la operación y mantenimiento?	√		



CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN



	MATERIAL, EQUIPOS Y PROCESO (continuación)	A	B	C
53	¿Están los accionamientos de válvulas con cadena adecuadamente soportados y dimensionados para minimizar el riesgo de rotura?	√		
54	¿Hay equipos los cuales la selección del material los hace sujetos a un rápido deterioro o falla?	√		
55	¿Puede ser probada la acción de válvulas automáticas estando la planta en operación?		√	
56	¿Están las válvulas de bloqueo al límite de batería fácilmente accesibles en una emergencia?	√		
57	¿Están los controladores y válvulas de control accesibles para mantenimiento?	√		
58	¿El estado general de las tuberías es bueno?	√		
59	¿La pintura de líneas se encuentra en buen estado?	√		
60	¿Existen programas de simulacros operacionales?	√		
61	¿Existen programas de sustitución de tuberías y accesorios de acuerdo a su límite de retiro?	√		
62	¿Se efectuaron pruebas hidrostáticas a las tuberías?	√		
63	¿Existen registros escritos y gráficas de la pruebas hidrostáticas?	√		
64	¿Se efectuó el radiografiado de soldaduras y en que porcentaje?	√		
65	¿Se realizó certificación de las soldaduras?	√		
66	¿Pueden los equipos disponerse de manera que las tareas de mantenimiento se realicen con total seguridad? (desconexión eléctrica total, bloqueo de líneas, etc.)	√		
67	Puede la presión de la descarga exceder la presión de diseño de la carcasa de bombas		√	
68	Puede la presión de descarga exceder la presión de diseño de alimentación de tuberías y equipos		√	
69	El acceso al público esta limitado	√		
70	Los números telefónicos de emergencia están actualizados	√		
71	Las señales de peligro están actualizadas	√		
72	Las bombas cuentan con protección de disparo por alta vibración	√		
73	Los bombas están provistas con disparo por sobrecarga eléctrica	√		
74	Cada bomba cuenta con indicadores de presión en la descarga	√		
75	Existen procedimientos para meter a operar las bombas de relevo	√		
76	¿Los sistemas eléctricos se encuentran dentro de las clasificaciones o códigos aplicables?	√		
77	Las bombas están provistas por un dispositivo de paro por falla en la alimentación	√		
78	Las bombas cuentan con un dispositivo de paro por exceso de presión	√		



	MATERIAL, EQUIPOS Y PROCESO (continuación)	A	B	C
79	Las bombas están provistas con un dispositivo de paro por exceso de carga eléctrica	√		
80	¿Cada bomba cuenta con válvula check en la descarga?	√		
81	¿Cada bomba esta provista con válvula de succión y descarga?	√		
82	¿Cada bomba esta provista con un indicador de presión local y remota?	√		
83	Cada bomba cuenta con sus manerales en todas sus válvulas	√		
84	¿La instrumentación de bombas se encuentra en buen estado? (manómetros, alarmas etc.)	√		
85	¿Las bombas cuentan con tag o identificación rotulada en campo?	√		
86	¿Existen procedimientos por paro de emergencia?	√		
87	¿La identificación de bombas corresponde a la mostrada en el SCD?	√		
88	¿Existen procedimientos de operación de bombas y relevos?	√		
89	¿Se cumple con el programa de rotación de equipo dinámico?	√		

	ACCIONES DE EMERGENCIA	A	B	C
90	¿Existe procedimiento para el manejo de cloro?	√		
91	¿Se requieren lava ojos de emergencia?	√		
92	¿Se requiere equipo de protección personal para emergencias?	√		
93	¿Interruptores y válvulas de emergencia: Se revisan con frecuencia? ¿Están bien señalizados? ¿Son accesibles?	√		
94	¿Se ha previsto fuerza e iluminación de emergencia?	√		
95	¿Se ha previsto la integridad de la sala de control en emergencias?	√		
96	¿Se requieren extintores? ¿Cuántos de que clase y tamaño?	√		
97	¿Se requieren sistemas de rociado automático?		√	
98	¿Se requiere equipo para detección de humos, calor o vapores inflamables? ¿De vapores tóxicos?	√		
99	¿Se ha previsto la contención de derrames?	√		
100	¿Se ha considerado la instalación de nuevas alarmas?		√	
101	¿Se mantiene al día el material de emergencia? ¿Se mantienen al día los procedimientos de emergencia? ¿Se realizan adiestramientos periódicos?	√		
102	¿Se ha previsto un sistema para llevar la cuenta exacta del número de personas en las instalaciones, incluyendo proveedores y contratistas?			√
103	¿Se mantiene al día la documentación sobre seguridad de los distintos materiales utilizados? ¿Se ha considerado la posibilidad de efectos sinérgicos?	√		
104	El plan de emergencia: ¿Se ha realizado teniendo en cuenta las consecuencias de los supuestos accidentes en los peores casos razonables con un análisis de riesgos riguroso? ¿Se han asegurado las comunicaciones de emergencia, incluso en periodos vacacionales?	√		

A continuación se presenta un nodo, para ejemplificar y hacer referencia del estudio y registro del análisis HazOp de la planta de fuerza y servicios auxiliares::

- ◆ Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 1. Baja presión

LOI: 3 Kg./cm²

LOS: 4.2 Kg./cm²

LSI: 2 Kg./cm²

LSS: 4.5 Kg./cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
1	1. Obstrucción del paquete de filtrado (a instalar)	1. Sistema de filtrado contará con filtro de relevo. 2. Directo del paquete de filtrado. 3. Control de presión de vapor generado mediante el incremento del consumo de combustóleo, por lo que no afecta la generación de vapor. 4. Indicador con alarma por alta presión diferencial (ensuciamiento del filtro). 5. El sistema de generación eléctrica propia opera sincronizado con CFE. 6. Se cuenta con un sistema de segregación de cargas de vapor y de energía eléctrica cuando se pierda el equilibrio entre el consumo y la generación de los servicios. 7. Alarmas por baja presión en los quemadores de gas combustible a calderas. 8. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por baja presión en tanque acumulador de gas	1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento de operación del paquete de filtrado. 2. Elaborar procedimiento para mantenimiento del paquete de filtrado. 3. Contar con refaccionamiento para el paquete de filtrado recomendado por el fabricante. 4. Incluir en los programas de mantenimiento preventivo el sistema del paquete de filtrado.	1 (1)	3 (4)	4 (6)	C



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 1. Baja presión

LOI: 3 Kg./cm²

LOS: 4.2 Kg./cm²

LSI: 2 Kg./cm²

LSS: 4.5 Kg./cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
		combustible 283-V.						
2	2. Falla por atoramiento de la PCV-2551 (OEKF01-AA001)	1. Baja generación de vapor con gas combustible. 2. Baja generación de energía eléctrica.	1. Directo de la válvula. 2. Alarma por baja presión en el SCD en el tanque 283-V. 3. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 4. Control de presión de vapor generado mediante el incremento del consumo de combustóleo, por lo que no afecta la generación de vapor. 5. El sistema de generación eléctrica propia opera sincronizado con CFE. 6. Se cuenta con un sistema de segregación de cargas de vapor y de energía eléctrica cuando se pierda el equilibrio entre el consumo y la generación de los servicios. 7. Alarmas por baja presión en los quemadores de gas combustible a calderas. 8. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por baja presión	1. No hay.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	D



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 1. Baja presión

LOI: 3 Kg./cm²

LOS: 4.2 Kg./cm²

LSI: 2 Kg./cm²

LSS: 4.5 Kg./cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
		en tanque acumulador de gas combustible 283-V.						
3	3. Descontrol operacional en el tanque acumulador de gas combustible 1804-V de Catalítica 1.	1. Baja generación de vapor con gas combustible. 2. Baja generación de energía eléctrica.	1. Alarma por baja presión en el SCD en el tanque 283-V. 2. Control de presión de vapor generado mediante el incremento del consumo de combustóleo, por lo que no afecta la generación de vapor. 3. El sistema de generación eléctrica propia opera sincronizado con CFE. 4. Se cuenta con un sistema de segregación de cargas de vapor y de energía eléctrica cuando se pierda el equilibrio entre el consumo y la generación de los servicios. 5. Alarmas por baja presión en los quemadores de gas combustible a calderas. 6. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por baja presión en tanque acumulador de gas combustible 283-V.	1. No hay.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1. Sector 5A. **Circuito:** 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 2. Alta presión

LOI: 3 Kg./cm²

LOS: 4.2 Kg./cm²

LSI: 2 Kg./cm²

LSS: 4.5 Kg./cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
4 1. Descontrol operacional en el tanque acumulador de gas combustible 1804-V de Catalítica 1.	1. Presionamiento en el tanque 283-V. 2. Incremento en la generación de vapor con gas combustible.	1. Válvula de seguridad PSV-2552, en el tanque 283-V. 2. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por baja presión en tanque acumulador de gas combustible 283-V. 3. Alarmas por baja presión en los quemadores de gas combustible a calderas. 4. Válvula controladora de presión PCV (OEKF01-AA01) de alimentación al tanque acumulador de gas combustible. 283-V.	1. No hay.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	D
5 2. Disparo de una caldera con consumo de gas combustible.	1. Presionamiento en el tanque 283-V. 2. Disminución en la generación de vapor con gas combustible.	1. Válvula de seguridad PSV-2552, en el tanque 283-V. 2. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por baja presión en tanque acumulador de gas combustible 283-V. 3. Alarmas por baja presión en los quemadores de gas combustible a calderas. 4. Válvula controladora de presión PCV (OEKF01-AA01) de alimentación al tanque acumulador de gas	1. No hay.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 2. Alta presión

LOI: 3 Kg./cm²

LOS: 4.2 Kg./cm²

LSI: 2 Kg./cm²

LSS: 4.5 Kg./cm²

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
		combustible. 283-V.					
		5. Control de presión del cabezal de vapor de alta.					



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 3. Fugas de gas combustible.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
6 1. Empaque dañado o mal instalado.	1. Posibilidad de explosión e incendio. 2. Daños al personal y a las instalaciones.	1. Procedimiento para la instalación y retiro de juntas ciegas y válvulas que incluye cambio de empaques. 2. Programa de capacitación al personal de mantenimiento. 3. Prueba de hermeticidad. 4. Recorridos rutinarios de personal de operación.	1. Continuar con la aplicación de los programas de mantenimiento. 2. Adquirir empaques con especificaciones de acuerdo al producto que se maneja.	3 (3)	4 (4)	9 (9)	D
7 2. Rotura de manguera tramada flexible de alimentación de gas a quemador.	1. Posibilidad de explosión e incendio. 2. Daños al personal y a las instalaciones. 3. Posibilidad de disparo de quemador por falla.	1. Pruebas neumáticas de manguera tramada flexible de alimentación de gas a quemador, nuevas y en cada reparación de calderas. 2. Instalación de junta ciega entre quemador y manguera durante la limpieza del quemador con vapor.	1. Continuar con las pruebas neumáticas de manguera tramada flexible de alimentación de gas a quemador.	2 (3)	4 (4)	7 (9)	D



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 4. Bajo flujo

LOI:

LOS: 270,000 m³/

LSI:

LSS: 1,310,000 m

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
8 1. Obstrucción del paquete de filtrado (a instalar)	<p>1. Baja el flujo hacia los quemadores y Presionamiento en el tanque acumulador de gas combustible 283-V.</p> <p>2. Baja la generación de vapor con gas combustible.</p> <p>3. Baja la generación de energía eléctrica.</p>	<p>1. Válvula de seguridad PSV-2552, en el tanque 283-V.</p> <p>2. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por alta presión en el tanque acumulador de gas combustible 283-V.</p> <p>3. Sistema de filtrado contará con filtro de relevo.</p> <p>4. Directo del paquete de filtrado.</p> <p>5. Control de presión de vapor generado mediante el incremento del consumo de combustóleo, por lo que no afecta la generación de vapor.</p> <p>6. Indicador con alarma por alta presión diferencial (ensuciamiento del filtro).</p> <p>7. El sistema de generación eléctrica propia opera sincronizado con CFE.</p> <p>8. Se cuenta con un sistema de segregación de cargas de vapor y de energía eléctrica cuando se pierda el equilibrio entre el consumo y la generación de los servicios.</p>	<p>1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento de operación del paquete de filtrado.</p> <p>2. Elaborar procedimiento para mantenimiento del paquete de filtrado.</p> <p>3. Contar con refaccionamiento para el paquete de filtrado recomendado por el fabricante.</p> <p>4. Incluir en los programas de mantenimiento preventivo el sistema del paquete de filtrado.</p>	1 (1)	3 (4)	4 (6)	C



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 4. Bajo flujo

LOI:

LOS: 270,000 m³/

LSI:

LSS: 1,310,000 m

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
9	2. Error operacional durante el cambio del filtro de relevo.	<p>1. Baja el flujo hacia los quemadores y Presionamiento en el tanque acumulador de gas combustible 283-V.</p> <p>2. Baja la generación de vapor con gas combustible.</p> <p>3. Baja la generación de energía eléctrica.</p>	<p>9. Alarmas por baja presión en los quemadores de gas combustible a calderas.</p> <p>1. Capacitación al personal de personal operativo.</p> <p>2. Válvula de seguridad PSV-2552, en el tanque 283-V.</p> <p>3. Indicador OEKF01-CP001 con alarma por alta presión en el tanque acumulador de gas combustible 283-V.</p> <p>4. Control de presión de vapor generado mediante el incremento del consumo de combustóleo, por lo que no afecta la generación de vapor.</p> <p>5. El sistema de generación eléctrica propia opera sincronizado con CFE.</p> <p>6. Se cuenta con un sistema de segregación de cargas de vapor y de energía eléctrica cuando se pierda el equilibrio entre el consumo y la generación de los servicios.</p> <p>7. Alarmas por baja presión en</p>	1	4	7	D
			1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento de operación del paquete de filtrado.	(3)	(4)	(9)	
			2. Capacitar al personal de operación para el manejo del sistema de filtrado.				



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1. **Circuito:** 1. De gas combustible.
Sector 5A.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 4. Bajo flujo

LOI:

LOS: 270,000 m³/

LSI:

LSS: 1,310,000 m

Causa

Consecuencias

Protecciones

Recomendaciones

F

G

R

Clase

los quemadores de gas
combustible a calderas.



Planta: Fuerza y servicios auxiliares No. 1.
Sector 5A.

Circuito: 1. De gas combustible.

Fecha: 10 de noviembre de 2003.

Nodo: 1. Gas combustible a calderas CB-1/2/3 y 5, incluye el sistema de filtrado. (MDO)

Diagramas: CA-5A-001, Rev. 1.

Producto: Gas combustible

Desviación: 5. Alto flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
10 1.No hay causas.	1.No hay.	1.No hay.	No hay.	4 (4)	4 (4)	10 (10)	D



1. RECOMENDACIONES OBTENIDAS POR LOS ESTUDIOS HAZOP Y WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SÍ...?).

Del análisis HazOp realizado a las modificaciones en líneas y equipos implementadas en esta Planta, 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.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

NO.	RECOMENDACIONES	ESCENARIO.	NIVEL
RECOMENDACIONES POR HAZOP			
1.	Modificación de la soportería y trinchera del rack de tuberías del área 59, para evitar la acumulación de agua durante la época de lluvias que causa corrosión exterior en las líneas.	38, 45	C
2.	Colocar los cilindros de cloro adecuadamente en las torres de enfriamiento de agua para prevenir movimientos de estos y daño a las conexiones.	30	C
3.	Transportar el cilindro de cloro sujetado de forma adecuada (con cincho) para prevenir caída del cilindro durante el traslado del almacén a las torres de enfriamiento.	30	C
4.	Elaborar y difundir un procedimiento para contingencia por derrame de ácido sulfúrico.	6	C
5.	Dividir el dique común de tanques de almacenamiento de hidróxido de sodio el 0257-V y de ácido sulfúrico el 0256-V para operar de manera independiente.	6,7,23	C
6.	Levantar el muro del dique de acuerdo a la capacidad del tanque de almacenamiento de sosa cáustica 257-V y del de ácido sulfúrico el 0256-V, de acuerdo a sus capacidades.	22, 23	C
7.	Identificar las líneas de descarga a tanques de sosa cáustica y ácido sulfúrico de acuerdo a código de colores, planta de tratamiento de agua.	8,24	C
8.	Instalar detectores de gas cloro en torres de enfriamiento 1401-T, 201-T, 1601-T, CT-201, EF-01.y planta potabilizadora con alarmas sonoras y visibles.	26, 27	C
9.	Adquisición de kit de refaccionamiento para confinación de fugas de cloro.	26, 27	C



CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIÓN



NO.	RECOMENDACIONES	ESCENARIO.	NIVEL
RECOMENDACIONES POR HAZOP			
10.	Elaborar, difundir y aplicar el procedimiento para el manejo y uso de cloro y respuesta a contingencias.	26, 27	C
11.	Adquirir equipo de protección personal para el caso de fuga mayor de cloro gas.	26, 27	C
12.	Instalar sistema de aspersión contra incendio por diluvio en todas las casetas (existentes) de los cilindros de cloro, para mitigar rápidamente las fugas de cloro cuando estas se presenten.	26, 27	C
13.	Reemplazar el tubing de conexión de los cilindros de cloro una vez al año.	28	C
14.	Adquirir la herramienta adecuada y utilizarla para la conexión de cilindro de cloro.	28, 29	C
15.	Instalar arreglo de dosificación para el cilindro de cloro de relevo en torres 201-T, 1401-T, 1601-T, CT-201 y EF-01	31	C
16.	Concientización al personal sobre el cuidado en el manejo de cilindros de cloro.	31	C
17.	Construir casetas de cloración adecuadas en las torres de enfriamiento que no cuenten con ellas, con soportes para dos cilindros de cloro, con sistema de aspersión por diluvio.	32	C
18.	Instalar sistema de medición de nivel en los tanques de almacenamiento de sosa cáustica, TV 1/1A/1B con alarmas sonora por alto y bajo nivel e incluirlos en el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	33, 35	C
19.	Mantener el área 59 y sus equipos limpios de residuos.	37, 44	C
20.	Identificar y rotular adecuadamente las líneas de carga a tanques de ácido sulfúrico y sosa cáustica.	37, 44	C
21.	Delimitar el acceso al área de descarga y almacenamiento de sosa cáustica y ácido sulfúrico del área 59.	37, 44	C
22.	Construir un cuarto de control adecuado para protección del CCM (Cuarto de control de motores) del área 59 o instalar tableros a prueba de intemperie.	39, 46	C
23.	Instalar sistema de medición de nivel en los tanques de almacenamiento de ácido sulfúrico, TV -2 con alarmas sonora por alto y bajo nivel e incluirlo en el programa de mantenimiento a instrumentos.	40, 42	C



NO.	RECOMENDACIONES	ESCENARIO.	NIVEL
RECOMENDACIONES POR HAZOP			
24.	De manera preventiva acordonar e instalar avisos de advertencia de riesgo del área de almacenamiento de sosa cáustica y ácido sulfúrico de la planta de tratamiento de agua.	4,20	D
25.	Utilizar equipo de medición de espesores que no requieran remoción de aislamiento de líneas y equipos.	15, 16	D
RECOMENDACIONES POR WHAT IF...?			
26.	Mantener disponible la bomba de relevo de las torres de enfriamiento de agua.	-	-
27.	Reemplazar las turbinas por motores eléctricos en las torres de enfriamiento de agua.	-	-
28.	Tener disponible refaccionamiento (reductores de velocidad, carrete de acoplamiento, motor) para los ventiladores de las torres de enfriamiento de agua.	-	-
29.	Rehabilitar dos ventiladores faltantes en la torre de enfriamiento de agua 1601-T.	-	-
30.	Verificar la hidráulica del sistema para evitar flujos preferenciales e incrustaciones líneas y en los equipos.	-	-
31.	La lubricación de las cajas de valeros de las bombas de las torres de enfriamiento, deberá ser por niebla.	-	-
32.	Contar con refaccionamiento (reductores de velocidad, carrete de acoplamiento, motor) para los ventiladores de las torres de enfriamiento.	-	-

Tabla 19. Recomendaciones jerarquizadas resultantes del análisis de riesgos HazOp y What if...? (¿Qué pasa si...?) realizado a modificaciones implementadas en la planta de tratamiento de agua de la planta de fuerza y servicios auxiliares.



SECCIÓN DE GENERACIÓN DE VAPOR Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

NO.	RECOMENDACIONES	ESCENARIO.	NIVEL
RECOMENDACIONES POR HAZOP			
1.	Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento de operación del paquete de filtrado de gas combustible.	1,8,9	C
2.	Elaborar procedimiento para mantenimiento del paquete de filtrado de gas combustible.	1,8	C
3.	Contar con refaccionamiento recomendado por el fabricante, para el paquete de filtrado de gas combustible.	1,8	C
4.	Incluir en los programas de mantenimiento preventivo el sistema del paquete de filtrado de gas combustible.	1,8	C
5.	Rehabilitar la turbo bomba 218-PBT del sistema de combustóleo.	17	C
6.	Instalar motobomba 218-PD nueva en el sistema de combustóleo.	17	C
7.	Capacitar al personal de operación para el manejo del sistema de filtrado de gas combustible.	9	D
RECOMENDACIONES POR WHAT IF...?			
8.	Mantener la operación de calderas en modo automático.	-	-
9.	Mantener en operación al menos un quemador de gas en cada caldera, para evitar paro total y reducir el tiempo para el arranque en caliente.	-	-
10.	Mantener siempre en operación el turbo ventilador 255-KT.	-	-
11.	Operar en modo automático el arranque del moto ventilador 255-KM.	-	-
12.	Mantener en modo automático el arranque de los ventiladores de aire primario 257-KT/KM.	-	-
13.	Mantener en modo automático los controles de la planta de fuerza y servicios auxiliares..	-	-
14.	Mantener siempre disponible la turbina de relevo 255-KT.	-	-
15.	Incrementar la capacidad de conducción de potencia eléctrica de la subestación de enlace No. 2 con CFE hacia el sistema de generación propia.	-	-
16.	Incrementar la capacidad de generación de vapor de media instalando calderas nuevas.	-	-



No.	Recomendaciones	Escenario.	Nivel
17.	Incrementar la capacidad de generación de energía eléctrica instalando un generador nuevo.	-	-
18.	Mantener la operación del control maestro del cabezal de media presión en modo automático.	-	-
19.	Mantener la operación de las válvulas reductoras de media a baja presión en modo automático.	-	-
20.	Mantener siempre en operación el turbo ventilador 1UJ-T.	-	-
21.	Operar en modo automático el arranque del moto ventilador 1UJ-M.	-	-

Tabla 20. Recomendaciones jerarquizadas resultantes del análisis de riesgos HazOp y What if...? (¿Qué pasa si...?) realizado a modificaciones implementadas en la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica de la planta de fuerza y servicios auxiliares. Las recomendaciones 1 a la 4 y la 7 se refieren al paquee de filtrado de gas combustible que se instalará en la planta de fuerza y servicios auxiliares.

2. LISTA DE BUENAS PRACTICAS QUE SE OBTUVIERON DEL ESTUDIO HAZOP, WHAT IF...? (¿QUÉ PASA SÍ...?).

El siguiente listado de actividades son buenas prácticas de aplicación, mantenimiento y Operación industrial, siendo éstas las protecciones para la prevención de eventos extraordinarios en la planta de fuerza y servicios auxiliares. Para dar cumplimiento a éstas, se cuenta con programas de actividades establecidos.

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

NÚM.	ACTIVIDAD O PROGRAMA
LISTA DE BUENAS PRACTICAS POR HAZOP YWHAT IF...?	
1	Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
2	Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a piernas de nivel.
3	Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.
4	Continuar con el programa de rotación de equipo dinámico.
5	Continuar con el mantenimiento preventivo a las válvulas automáticas de control de nivel.
6	Continuar con programa de calibración preventiva a equipos y líneas.
7	Continuar con supervisión durante la descarga de auto tanques de productos.



SECCIÓN DE GENERACIÓN DE VAPOR Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

NUM.	ACTIVIDAD O PROGRAMA
LISTA DE BUENAS PRACTICAS POR HAZOP YWHAT IF...?	
8	Continuar con el programa de mantenimiento a equipo dinámico.
9	Continuar con la aplicación de los programas de mantenimiento.
10	Continuar con las pruebas neumáticas de manguera tramada flexible de alimentación de gas a quemadores.
11	Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
12	Continuar con la supervisión en tablero y campo durante el llenado de tanques de combustóleo.
13	Continuar con la aplicación del procedimiento por falla de suministro de aceite combustible.
14	Continuar con la rutina de limpieza de filtros.

C. RESULTADOS Y RECOMENDACIONES OBTENIDOS CON LA TÉCNICA 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 de la planta de fuerza y servicios auxiliares:

◆ **PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.**

1. Fuga de cloro anhidro en un cilindro de la planta potabilizadora de agua.

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS		
ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
1. Fuga de cloro anhidro en un cilindro de la planta potabilizadora de agua.	El cilindro puede tener daños debido a una conexión inadecuada, debido a que no se cuenta con la herramienta adecuada o no existió una supervisión adecuada durante el trabajo causando la ruptura de tubing y/o manguera.	Existiría contaminación ambiental así como daños al personal por exposición y daños a equipos e instalaciones por ambiente corrosivo.

El evento culminante tiene una probabilidad de ocurrencia de 3.17×10^{-1} , por lo que es probable que se suscite este escenario, es decir, que puede o ha ocurrido en un año. Se tiene una probabilidad 3.17×10^{-1} y una frecuencia de 2.753×10^{-1} al año. Si se expresa la probabilidad de este evento en por ciento, se tiene 31.7 % de probabilidad de ocurrencia de fuga de cloro



anhidro en un cilindro. Para minimizar la probabilidad de ocurrencia de este evento se recomiendan las siguientes buenas prácticas de trabajo:

- 1 Adquirir la herramienta adecuada y utilizarla para manejo de conexión de cilindro de cloro.
- 2 Reemplazar el tubing y/o manguera de conexión del cilindro de cloro una vez al año.
- 3 Transportar el cilindro de cloro sujetado de forma adecuada (con cincho) para prevenir caída del cilindro durante el traslado del almacén a la planta potabilizadora.
- 4 Construir casetas de cloración adecuadas con soportes para dos cilindros de cloro, con sistema de aspersión por diluvio para mitigar rápidamente las fugas de cloro en caso de que se presenten.

Para este escenario se elaboró el árbol de fallas FQ-364-TA-FTA-01, 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. Este diagrama se pueden consultar en el apéndice B de este trabajo.

◆ **SECCIÓN DE GENERACIÓN DE VAPOR Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.**

1. Análisis de árbol de fallas para una alta presión en el tanque de gas combustible 283-V

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS		
ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
1. Alta presión en el tanque acumulador de Gas Combustible 283-V.	Puede haber una alta presión corriente arriba debido a una obstrucción del paquete de filtrado por alto contenido de gomas y sólidos en el gas combustible o por un descontrol en el tanque de gas combustible 1804-V que regula la presión de todo el cabezal de gas combustible.	Baja la generación de vapor con gas combustible y por consiguiente la generación de energía eléctrica también, además puede presentarse una fuga en conexiones del tanque 283-V, con el riesgo explosión.



El evento culminante tiene una probabilidad de ocurrencia de 1.06×10^{-1} , por lo que es probable que se suscite este escenario, es decir, que puede o ha ocurrido en un año. Se tiene una probabilidad 0.106 y una frecuencia de 0.1007 al año. Si se expresa la probabilidad de este evento en por ciento, se tiene 10.6 % de probabilidad de ocurrencia de una alta presión en el tanque de gas combustible 283-V. Considerando los programas de mantenimiento y capacitación del personal operativo queda en un rango de riesgo aceptable

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

1. Elaborar, difundir y aplicar un procedimiento de operación del paquete de filtrado a instalar.
2. Elaborar procedimiento para mantenimiento del paquete de filtrado a instalar.
3. Contar con refaccionamiento para el paquete de filtrado recomendado por el fabricante.
4. Incluir en los programas de mantenimiento preventivo el sistema del paquete de filtrado a instalar.

Para este escenario se elaboraron los árboles de fallas FQ-364-FSA-FTA-01-1/2 y FQ-364-FSA-FTA-01-2/2, 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 el Apéndice B de este trabajo.

D. RESULTADOS OBTENIDOS CON LA TÉCNICA DE 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 ARCHIE, 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”.

1. EVENTOS SELECCIONADOS.

◆ PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Caso 1: Fuga en el cilindro de cloro anhidro de la planta potabilizadora de agua.

La fuga de cloro en el cilindro puede ocurrir durante la conexión de la válvula reguladora, por ruptura de la manguera por usar la herramienta inadecuada, o por encontrarse el cilindro mal acomodado y se mueve dañando las conexiones. La fuga de cloro anhidro se presenta con un flujo de 1.86 kg/s; considerando un tiempo máximo estimado de control de 600 s, se espera que ocurra como evento máximo posible y máximo catastrófico el evento conocido como dispersión de nube tóxica. En el apéndice C de este trabajo se describe con más detalle los efectos de dispersión y toxicidad sobre las plantas afectadas (para el caso 1 se realizó el diagrama de afectación FQ-364-AC-TA-01 ver apéndice C).



Dispersión de Cl ₂	Distancia en metros		
	Categoría F. 1.5 m/s	Categoría B/C. 2.5 m/s	Categoría F. 5.5 m/s
	ZONA DE ALTO RIESGO		
IDLH (30 ppm)	1401 m	272.5 m	979 m
ZONA DE AMORTIGUAMIENTO			
TLV ₁₅ (1 ppm)	Después de 1402 m hasta 22392 m	Después de 273 m hasta 2112 m	Después de 980 m hasta 10410 m

Las zonas de alto riesgo y de amortiguamiento se ven afectada en su magnitud por las condiciones ambientales por tal motivo en la tabla anterior se muestra para tres condiciones ambientales diferentes. Las zonas de alto riesgo y de amortiguamiento se trazan en un diagrama de localización de la refinería, ver el diagrama FQ-364-AC-TA-01 en el apéndice C. Las condiciones que se trazan son para una velocidad de viento de 5.5m/s (20Km/h) y una estabilidad atmosférica F (Ver tabla 21).

La simulación calcula la probabilidad de muerte de acuerdo al orificio de fuga estimado obteniéndose los siguientes resultados (Ver tabla 22).

Como se menciona anteriormente el tamaño de las zonas de alto riesgo y amortiguamiento, se ven afectadas por las condiciones ambientales, basándose en ese criterio la probabilidad de muerte se calcula para tres categorías ambientales, ver tabla 22, se tiene que el 100 % de seres expuestos en 50m pueden perder la vida (claro esto en la dirección del viento en la zona de la refinería, de S.E a N.O) y con solo 9 % de probabilidad de muerte en 225m.

RESULTADOS PARA RESPUESTA A EMERGENCIAS				
Concentración (ppm)	Tiempo de referencia (s)	Distancia (m)		
		Categoría F. 1.5 m/s	Categoría B/C. 2.5 m/s	Categoría F. 5.5 m/s
ERPG 1 (1)	3600	12237.2	1329.03	6151.58
ERPG 2 (3)	3600	5622.9	732.533	3134.94
ERPG 3 (20)	3600	1382.79	270.059	968.892

Tabla 21. Resultados de concentración a distancias para respuesta a emergencias.



PROBABILIDAD DE MUERTE POR FUGA DE Cl ₂			
Distancia (m)	Categoría F. 1.5 m/s	Categoría B/C. 2.5 m/s	Categoría F. 5.5 m/s
25/50	1.00	1.00	1.00
75	0.93	0.71	0.75
100	0.57	0.08	0.54
125	0.42	0.01	0.39
150	0.31	-	0.28
175	0.22	-	0.19
200	0.17	-	0.12
225	0.12	-	0.09
250/425	0.01	-	-
250/375	-	-	0.01

Tabla 22. Probabilidad de muerte por fuga de cloro anhidro.

♦ SECCIÓN DE GENERACIÓN DE VAPOR Y GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

Caso 2: Fuga de gas combustible en el tanque acumulador 283-V.

La fuga de gas combustible puede ocurrir por empaques dañados de la brida de conexión entre la boquilla del tanque acumulador 283-V y la línea de salida del gas hacia el las calderas CB-1, CB-2, CB-3, después de una reparación, o por un presionamiento en el sistema.

La fuga de gas combustible se presenta con un flujo de 0.386kg/s; considerando un tiempo máximo estimado de control de 600s, 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 C de este trabajo se describe con mas detalle los efectos de sobrepresión y radiación sobre la planta (para el caso 2 se realizó el diagrama de afectación FQ-364-AC-FSA-001 ver apéndice C).



Los niveles de radiación térmica alcanzados son:

DISTANCIA (M)			
Nivel de Radiación	Categoría F. 1.5 m/s	Categoría B/C. 2.5 m/s	Categoría F. 5.5 m/s
1.4 Kw./m2	11.88	12.44	13.17
5 kW/m2	2.58	3.70	5.48
12.5 kW/m2	-----	-----	-----

Tabla 23. Niveles de radiación térmica por Jet fire.

Sobrepresión (Bar) / (lb/pg ²)	MÁXIMA DISTANCIA DE AFECTACIÓN		
	Categoría F. 1.5 m/s	Categoría B/C 2.5 m/s	Categoría F 5.5 m/s
0.034 / 0.5 Zona de Amortiguamiento	140.50m	140.50m	140.50m
0.068 / 1.0 Zona de Alto Riesgo	85.5 m	85.5392m	85.5 m
0.206 / 3.0	53.9 m	53.9 m	53.9 m

Tabla 24. Efectos de sobre presión por fuga de de gas combustible en el tanque acumulador 0283-V.

De acuerdo a los niveles de radiación térmica resultantes del jet fire producto de fuga por empaques dañados de la brida de conexión alcanzan niveles para afectación de líneas o equipos; pero sí al personal que se encuentre en un radio de 5.48m y por sobrepresión la zona de alto riesgo alcanza 85.5m.



2. GRÁFICAS DE LAS CONSECUENCIAS POR FUGA DE CLORO ANHÍDRO DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA.

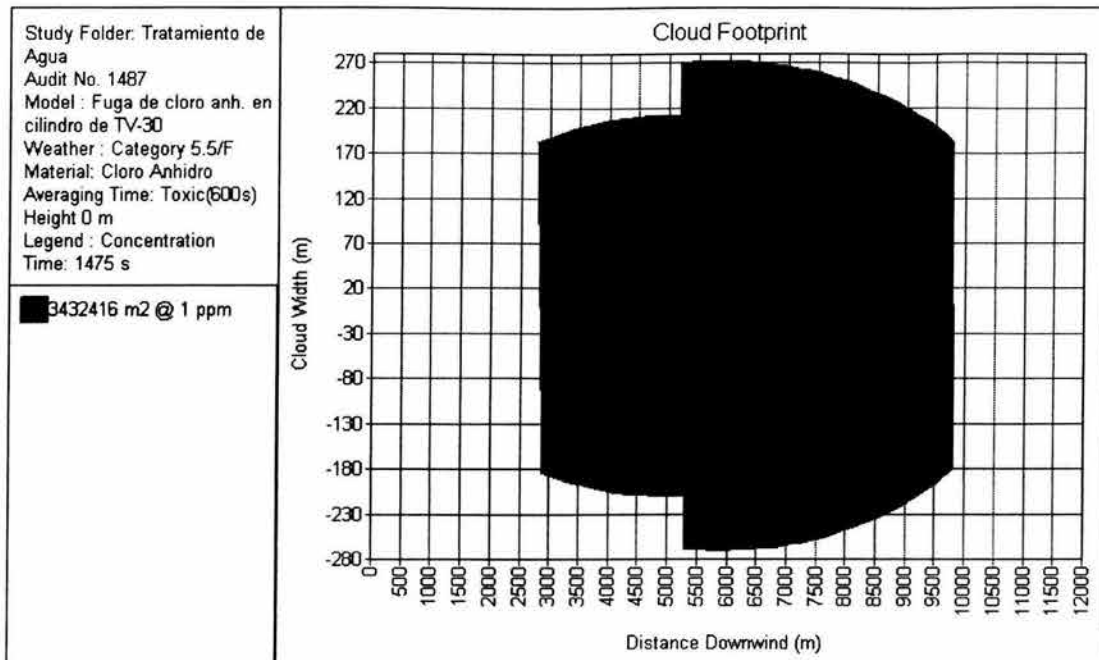


Figura 9. Huella de la nube por la fuga de cloro anhidro, ancho de la nube (m) vs distancia a favor del viento (m). Zona de amortiguamiento.

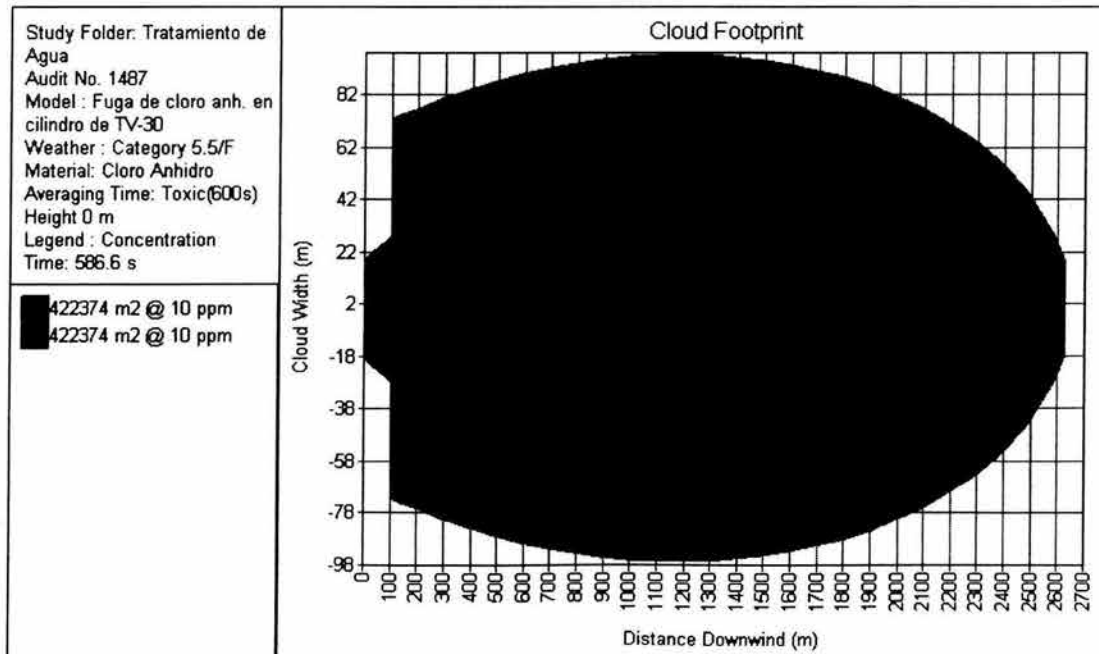


Figura 10. Huella de la nube por la fuga de cloro anhidro, ancho de la nube (m) vs distancia a favor del viento (m). Zona de alto riesgo.



3. GRÁFICAS DE LAS CONSECUENCIAS POR FUGA DE GAS COMBUSTIBLE EN EL TANQUE ACUMULADOR 283-V.

La representación gráfica del jet fire se muestra en figura 11:

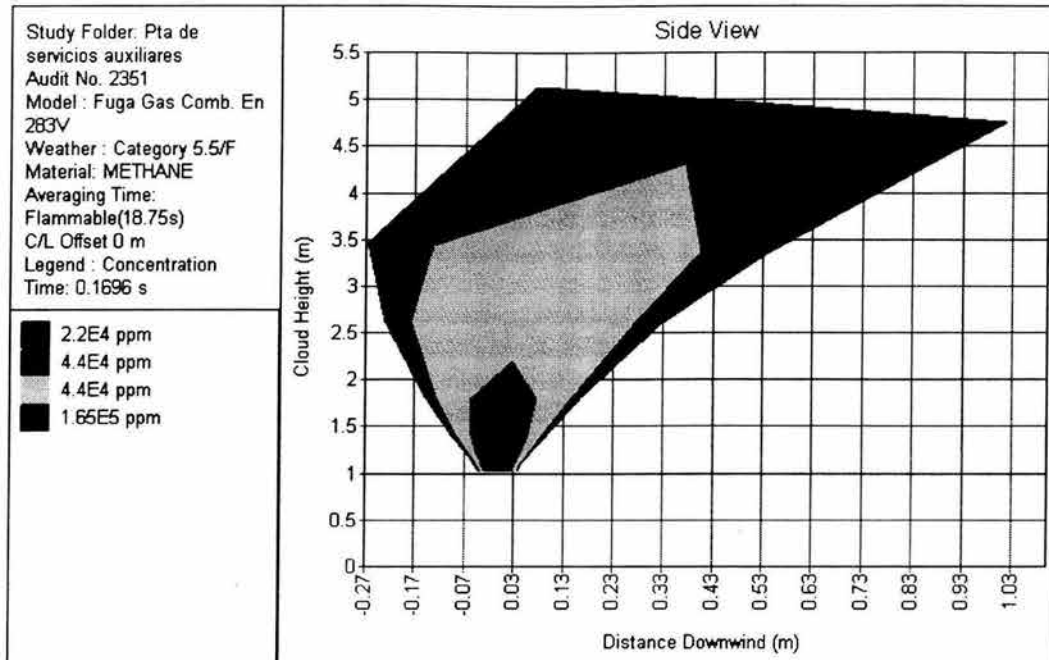


Figura 11. Representación de jet fire

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

CASO 1: Para la dispersión de nube tóxica por fuga de cloro anhidro en un cilindro de la planta de potabilizadora de agua, la magnitud zona de alto riesgo y amortiguamiento dependerá de las condiciones ambientales y cantidad de cloro que contenga el cilindro, aunque en este caso se considera cilindro al 100% de su capacidad. Entonces se tiene que la zona de alto riesgo máxima será en 1401m para velocidad de viento de 1.5m/s con estabilidad ambiental F (día inestable) y la mínima a 272.50m a 2.5m/s con estabilidad B/C (día estable) pero a las condiciones similares a las de la Refinería fue 979m a 5.5m/s con estabilidad de F, todos estos casos en dirección de los vientos reinantes de S.E a N.O, por lo que es necesario considerar la instalación de detectores de cloro gas que opere con un sistema de aspersion de agua contra incendio en las casetas donde se maneja el cloro gas, para mitigar rápidamente una fuga y reducir la probabilidad de muerte ya que la fuga se contiene en la caseta. El diagrama FQ-364-AC-TA-01 se traza para la tercera categoría resultando afectadas las siguientes áreas.



Para la zona de alto riesgo:

- ◆ Un 40 % de la planta de fuerza y servicios auxiliares (torre de enfriamiento 201-T, tanque 253V1/V2, cuarto de cambio, CB-5 y cuarto de operadores de calderas).
- ◆ 80 % de la planta catalítica 1.
- ◆ Taller de mantenimiento mecánico.
- ◆ Taller de mantenimiento a instrumentos.
- ◆ Servicios médicos de la Refinería.

Para la zona de amortiguamiento:

- ◆ El edificio administrativo.
- ◆ El cuanro central de control (Bunker).
- ◆ Instalaciones del IMP.

Alcanzando más allá de los límites de la refinería hasta 10410 metros a partir del punto de fuga.

CASO 2: Las zonas de alto riesgo y de amortiguamiento se ven afectadas en su magnitud por las condiciones ambientales, por tal motivo en la tabla 12 se muestra para tres condiciones ambientales diferentes graficando a condiciones de estabilidad F y una velocidad de 5.5m/s. Las zonas de alto riesgo y de amortiguamiento se trazan en un diagrama de localización de la refinería, ver el diagrama FQ-364-AC-FSA-01. Los equipos que se encuentran dentro de la zona de alto riesgo son:

- ◆ Calderas CB-1, CB-2, CB-3
- ◆ Torre de enfriamiento 201-T
- ◆ Edificio de Turbogeneradores
- ◆ Deareadores
- ◆ Tanques de almacenamiento de combustóleo
- ◆ Cuarto de control para Calderas
- ◆ Tanques de condensado 0221-V, 0254-V, 0255-V
- ◆ Tanques de agua desmineralizada 0253-V1/V2

Afectando un 40% de las instalaciones de la planta de fuerza y servicios auxiliares, 15% de la planta catalítica 1 y el almacén de materias primas de la Refinería todas estas afectaciones por efectos de sobre presión por una posible explosión producto de la fuga de gas combustible



En general las recomendaciones que se pueden dar del estudio de análisis de riesgos realizado son:

- ◆ Aplicar en forma adecuada 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 suscitar 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.



Conclusiones.

CONCLUSIONES.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



CONCLUSIONES

Este trabajo forma parte del análisis de riesgos que se practicó en la planta de fuerza y servicios auxiliares. Dicho análisis servirá como un instrumento para lograr que la seguridad en la planta 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.

En cuanto a la actualización de diagramas, PEMEX en colaboración con la UNAM, convinieron hacer la actualización de 110 Diagramas de Tubería e Instrumentación para la realización del análisis de riesgos bajo el convenio FQ-364/2003 y así dar inicio a la realización del análisis con las técnicas mencionadas en el título de este trabajo.

El análisis HazOp es un método para identificar peligros y evaluar riesgos. Tiene carácter sistemático y multidisciplinario; el cual debe considerarse como un concepto de seguridad del proceso para protección del personal, instalaciones, comunidades aledañas y medio ambiente. 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 52 recomendaciones, 32 recomendaciones en la planta de tratamiento de agua y 21 en la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica (por HazOp y What if...? (¿Qué pasa si...?)), 25 recomendaciones en la planta de tratamiento de agua fueron por HazOp, las cuales 23 fueron de nivel C (riesgo aceptable con controles) y 2 fueron de nivel D (riesgo aceptable como esta). En la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica fueron 7 recomendaciones por HazOp de las cuales 6 recomendaciones fueron de nivel C y 1 de nivel D Para darle seguimiento a estas recomendaciones los ingenieros de la planta de fuerza y servicios auxiliares 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 nube tóxica por fuga en el cilindro de cloro anhidro de la planta potabilizadora de agua, eso en la planta de tratamiento de agua y en la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica una explosión por fuga de gas combustible en el tanque acumulador 283-V. De este análisis se obtuvieron una serie de recomendaciones que al ser implementadas reducirán la probabilidad de que tengan lugar los accidente propuestos.



Gracias al análisis de consecuencias 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 trabajadores 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.

Al utilizar las técnicas What if...? (¿Qué pasa si...?) y lista de verificación se pudieron observar detalles que existían en la planta, dando hincapié para que en el análisis HazOp se tomaran en cuenta, se encontraron 7 Recomendaciones en la planta de tratamiento de agua y 14 la sección de generación de vapor y generación de energía eléctrica [solo por What if...? (¿Qué pasa si...?)], por tanto estas recomendaciones pertinentes se hicieron en equipos específicos de la planta de fuerza y servicios auxiliares mismos que se tomaron en cuenta en el análisis HazOp.

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 y de cualquier individuo dentro de las actividades que realiza cotidianamente, como es el tener como prioridad principal la seguridad y protección de sus trabajadores y/o actividades que realizan, de la comunidad y del medio ambiente. Este trabajo me dio una visión más amplia del trabajo que el Ingeniero Químico puede realizar en el área de la seguridad industrial no solo en la industria petrolera si no en todas aquellas en la que el riesgo este presente y donde el objetivo de la empresa sea la seguridad de sus trabajadores y la del medio ambiente.

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.

Los programas de protección ambiental en PEMEX Refinación se centralizan en el acatamiento de las auditorías, con referencia a los estándares internacionales, consolidando la armonía de las comunidades y los diversos segmentos de la sociedad relacionados con la empresa.



APÉNDICES.

A: Principales accidentes ambientales en el mundo, índice de accidentes en PEMEX, etapas de estudio de análisis de riesgos.

B: Diagramas.

C: Fuga de gases y sustancias tóxicas, fenómenos peligrosos.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



APÉNDICE A

PRINCIPALES ACCIDENTES AMBIENTALES EN EL MUNDO¹

Año	País	Tipo de accidente	Producto químico	Muertes	Lesionados	Evacuados
1975	Italia	Explosión planta química	Dioxina		193	730
1975	EUA	Explosión planta química	Cloro			10.000
1976	México	Accidente del camino	Gas	1 00	150	
1976	España	Accidente de transporte	Propileno	21 6	200	
1979	EUA	Falla reactor	Radionúclidos			200.000
1980	RU	Incendio de planta	Cianuro de sodio		12	3.500
1981	México	Accidente ferroviario	Cloro	29	1.000	5.000
1981	Venezuela	Explosión	Petróleo	145	1.000	
1982	Venezuela	Explosión de tanque	Explosivos	101	1.000	
1983	Nicaragua	Explosión de tanque	Petróleo			23.000
1984	Brasil	Explosión de ductos	Gasolina	508	3	
1984	India	Escape planta química	Metilisocianato	2.500	50.000	200.000
1984	México	Explosión de tanque	Gas	452	4.248	31.000
1985	India	Escape	Trióxido de azufre	1	350	100.000
1986	China	Explosión reactor	Radionúclidos	31	300	135.000
1987	China	Accidente	Alcohol metílico	55	3.600	
1988	EUA	Contaminación del agua	Bicarbonato Am.		15.400	
1989	EUA	Incendio de fábrica	Ácido sulfúrico			16.000

¹ González Machin Diego, "Curso de Autoaprendizaje en Prevención, Preparación y Respuesta para desastres por Productos Químicos", 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), Sao Paulo, Brasil, Abril 2002.



**Índices de accidentes
1996-2001***

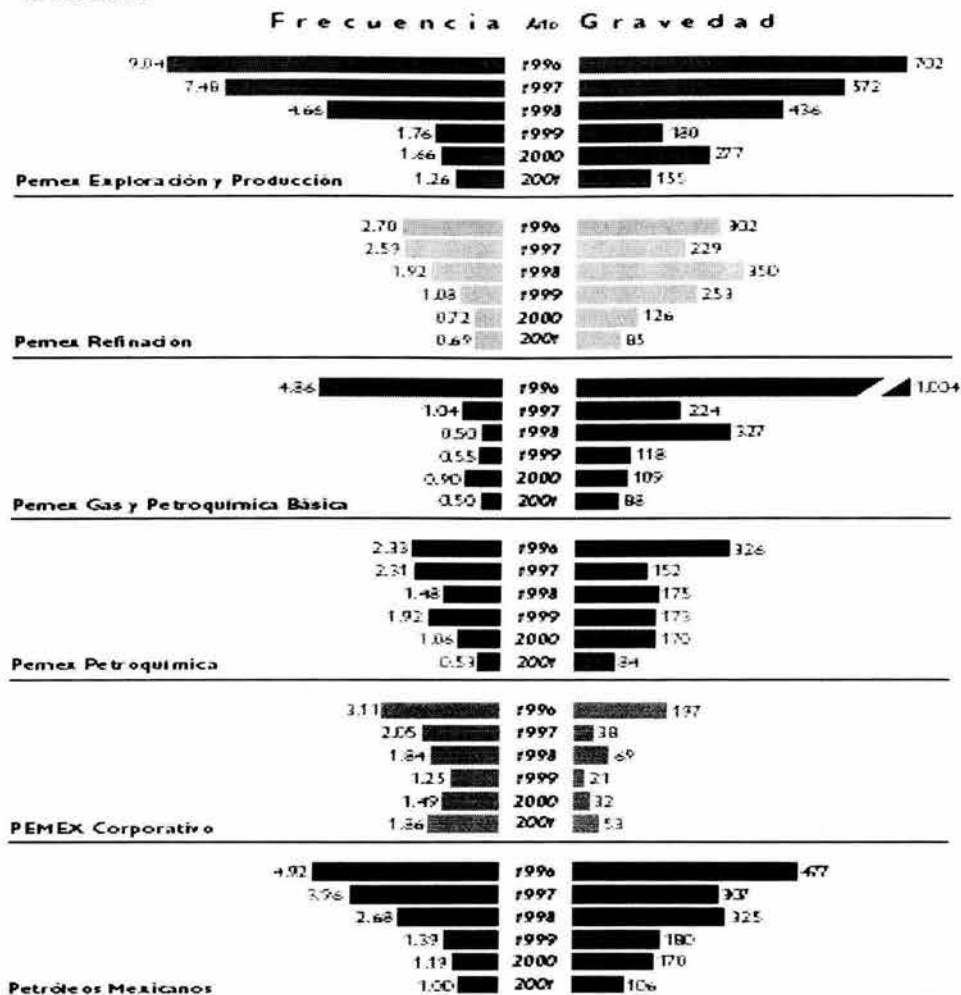


Figura 12. Índice de accidentes en PEMEX.

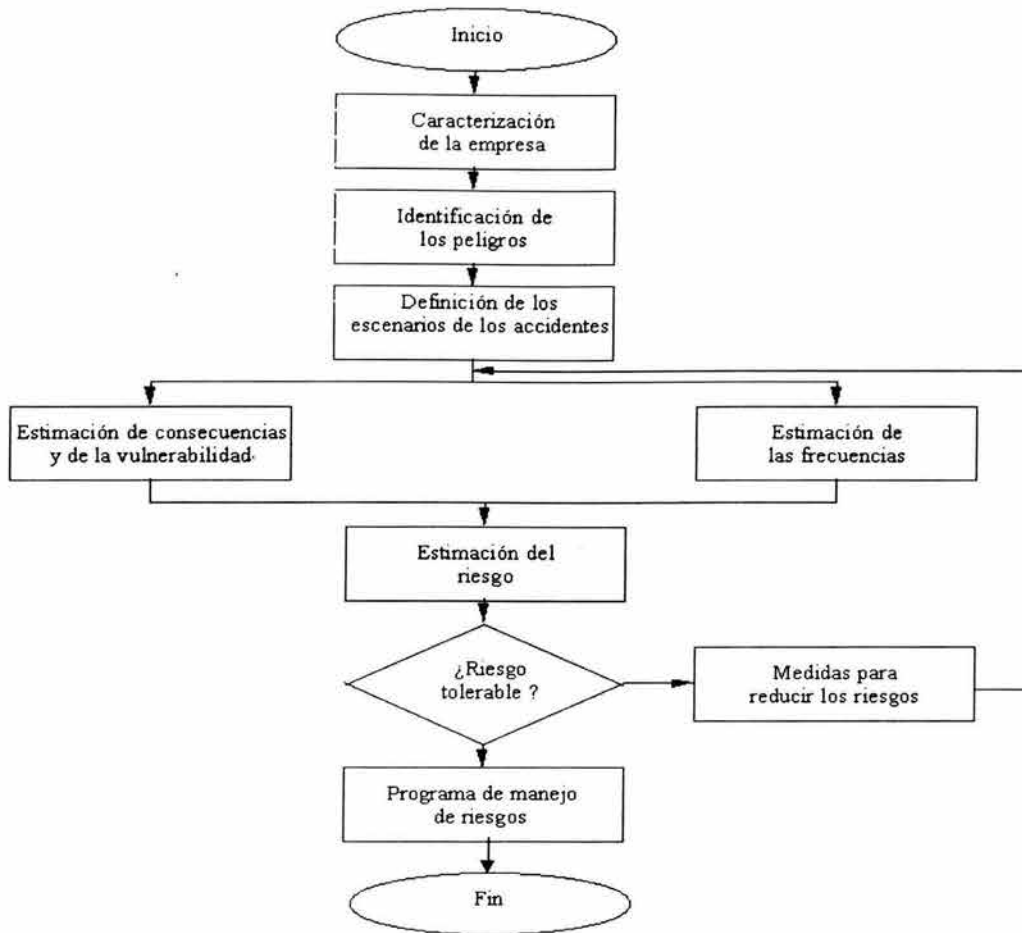
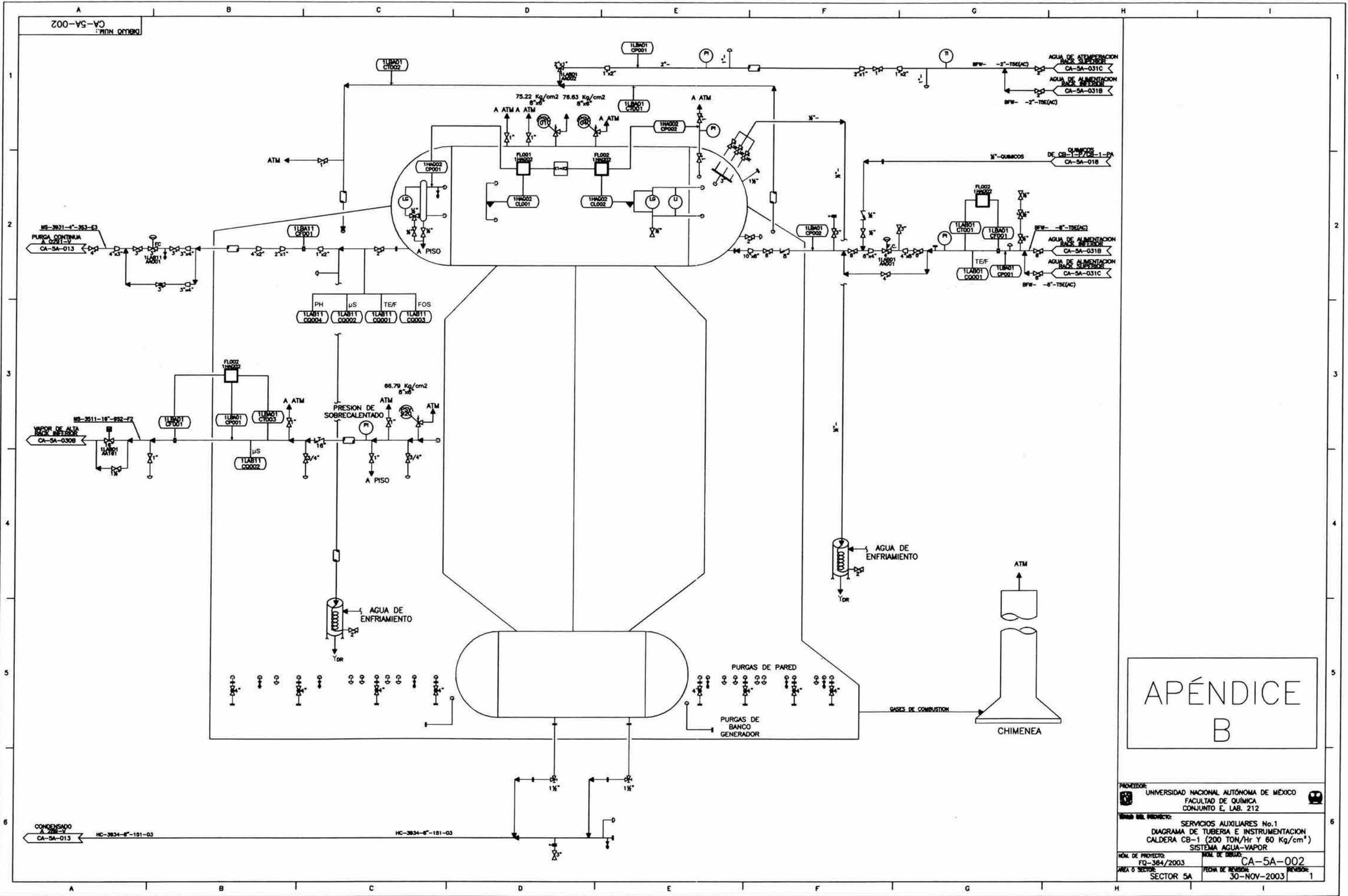


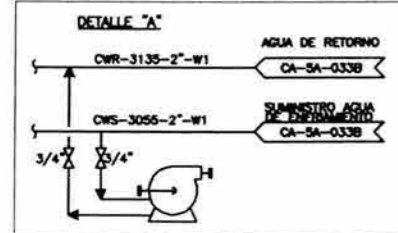
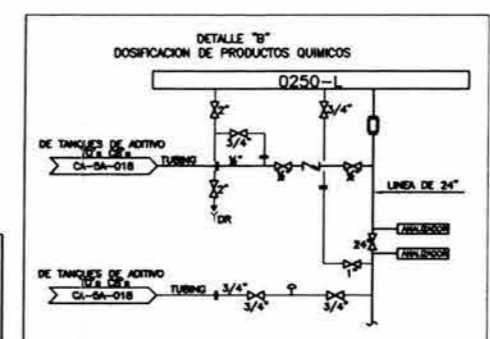
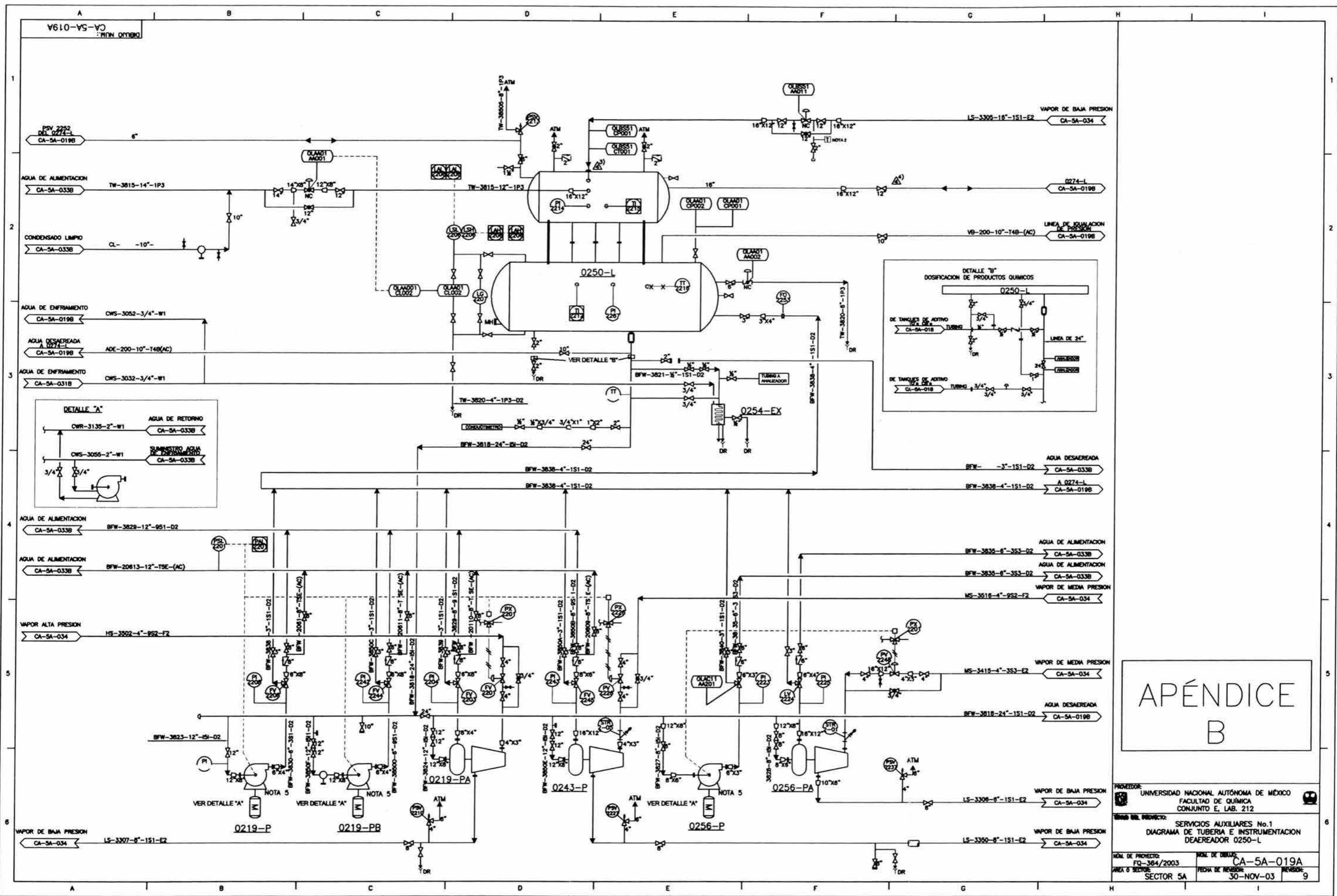
Figura 13. Etapas de estudio de análisis de riesgos.



APÉNDICE B

PROVEEDOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA CONJUNTO E, LAB. 212	
TÍTULO DEL PROYECTO: SERVICIOS AUXILIARES No.1 DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN CALDERA CB-1 (200 TON/Hr Y 60 Kg/cm ²) SISTEMA AGUA-VAPOR	
NÚM. DE PROYECTO: FQ-384/2003	NÚM. DE DIBUJO: CA-5A-002
ÁREA O SECTOR: SECTOR 5A	FECHA DE REVISIÓN: 30-NOV-2003
	REVISOR: 1

V610-YS-V0
MIN. QUMICA



APÉNDICE B

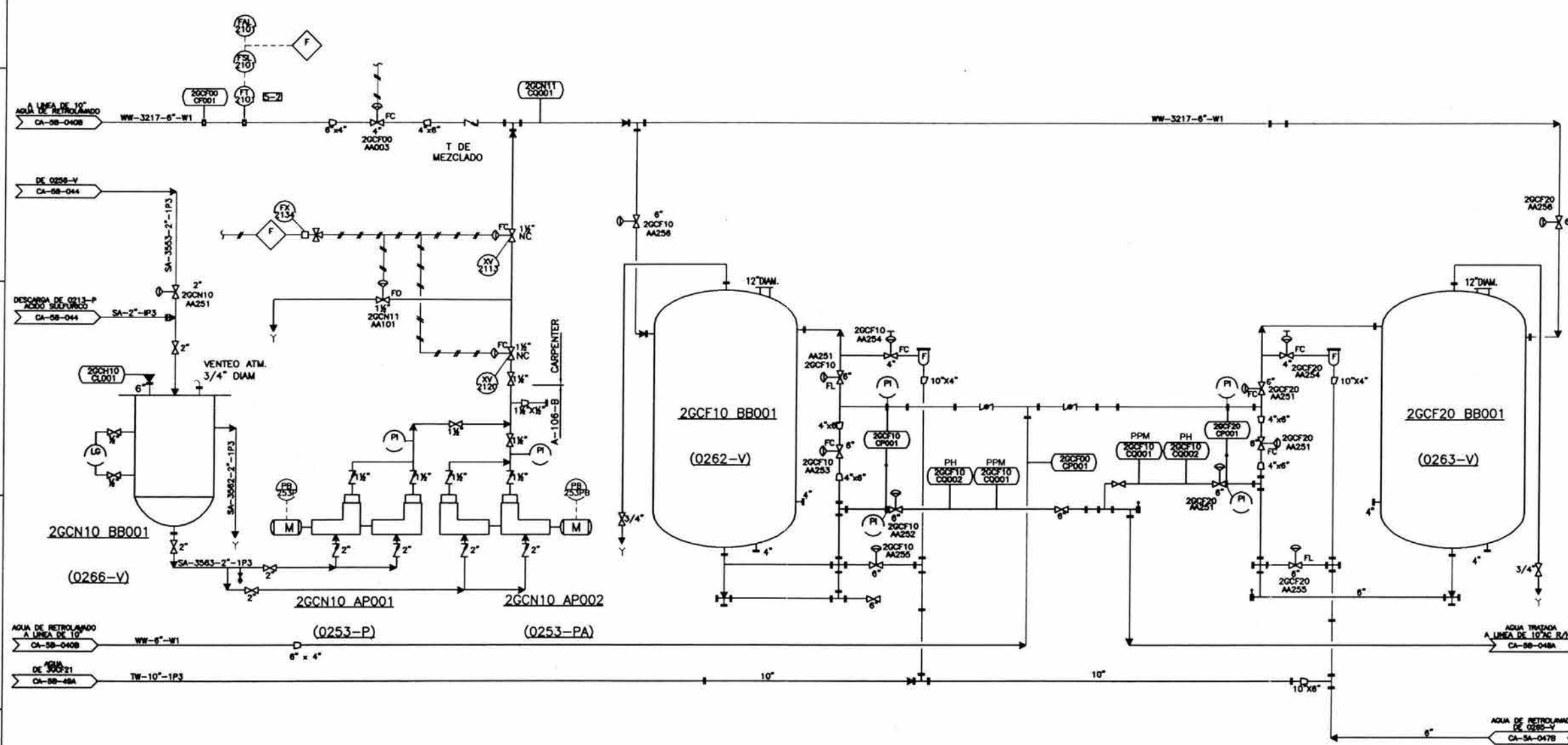
PROVEEDOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA
CONJUNTO E, LAB. 212

TÍTULO DEL PROYECTO: SERVICIOS AUXILIARES No.1
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN
DEAERADOR 0250-L

NÚM. DE PROYECTO: FQ-364/2003
ÁREA O SECTOR: SECTOR 5A

NÚM. DE DIBUJO: CA-5A-019A
FECHA DE REVISIÓN: 30-NOV-03
REVISOR: 9

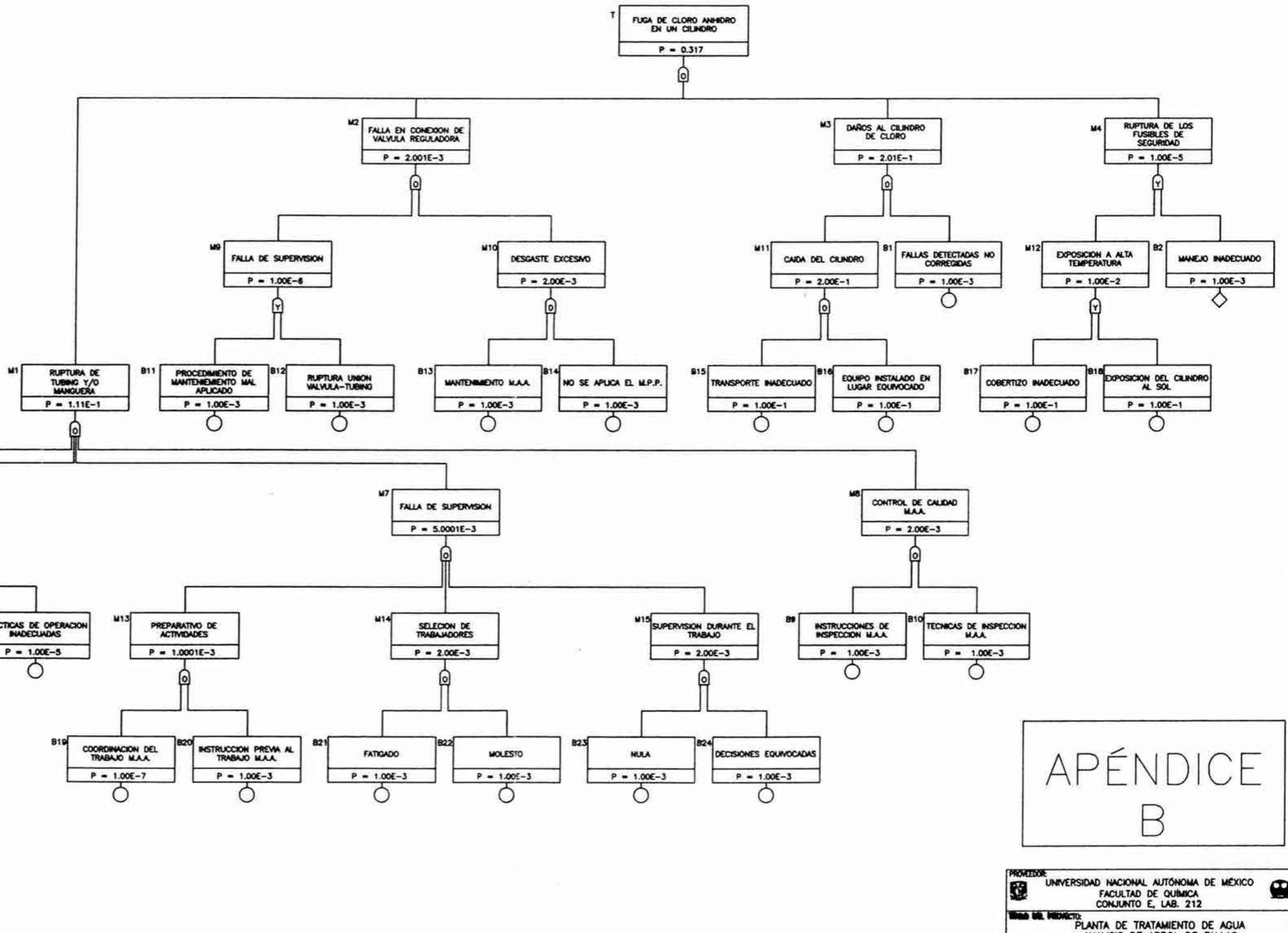
CA-5B-047A
 DIBUJO NUM.



APÉNDICE B

PROVEEDOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA CONJUNTO E, LAB. 212	
OBJETO DEL PROYECTO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN UNIDAD DESMINERALIZADORA No. 3	
NÚM. DE PROYECTO: FQ-364/2003	NÚM. DE DIBUJO: CA-5B-047A
ÁREA O SECTOR: SECTOR 5B	FECHA DE REVISIÓN: 30-NOV-03
	REVISIÓN: 5

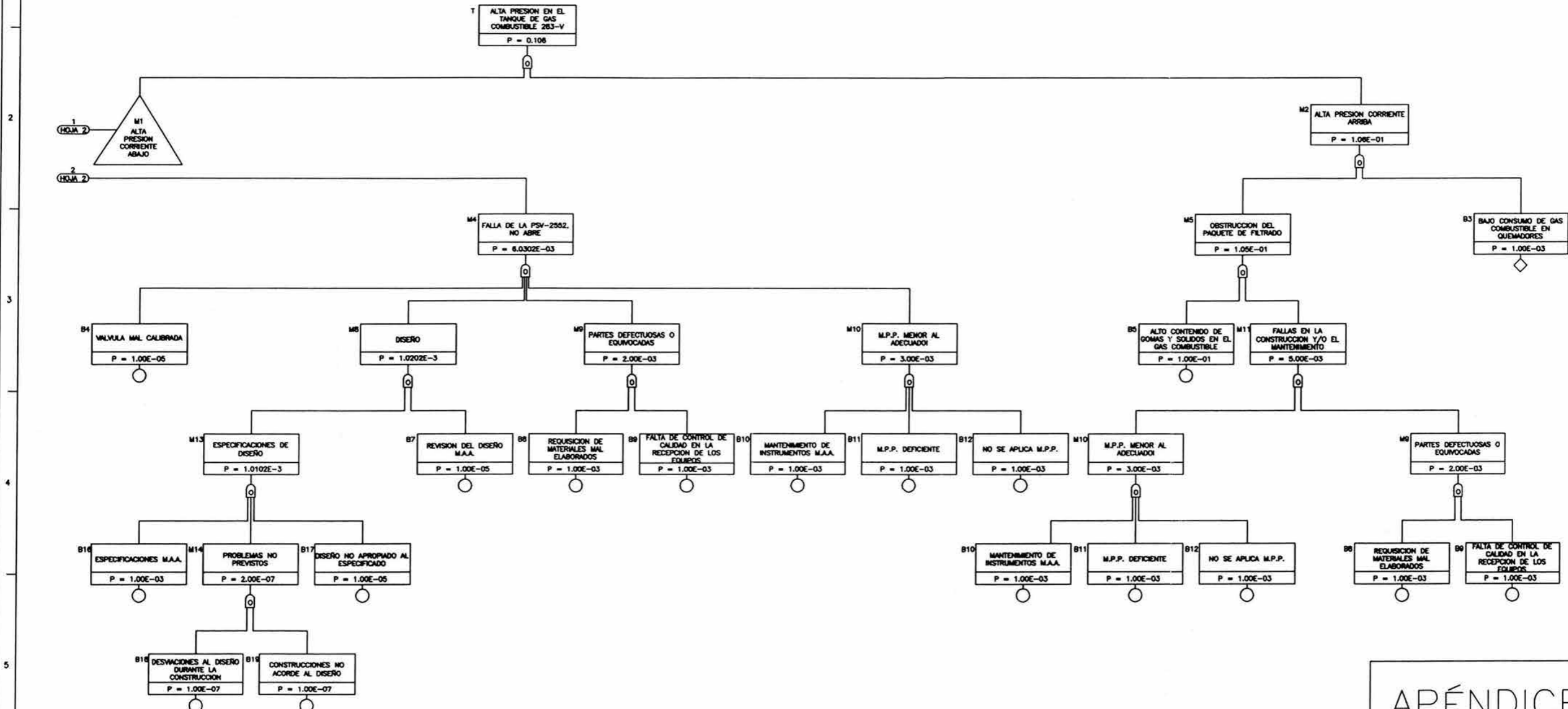
TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
FUGA DE CLORO ANHIDRO EN UN CILINDRO	0.317	0.2753 VECES/AÑO



APÉNDICE B

PROVEEDOR:	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
	FACULTAD DE QUÍMICA
	CONJUNTO E, LAB. 212
TÍTULO DEL PROYECTO:	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
	ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS
	FUGA DE CLORO ANHIDRO EN UN CILINDRO
NÚM. DE PROYECTO:	FQ-364/2003
NÚM. DE HOJAS:	FQ-364-TA-FTA-01
ÁREA O SECTOR:	SECTOR 5B
FECHA DE REVISIÓN:	30-NOV-03
REVISIÓN:	1

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
ALTA PRESION EN EL TANQUE DE GAS COMBUSTIBLE 283-V	0.106	0.1007 VECES/AÑO



APÉNDICE B

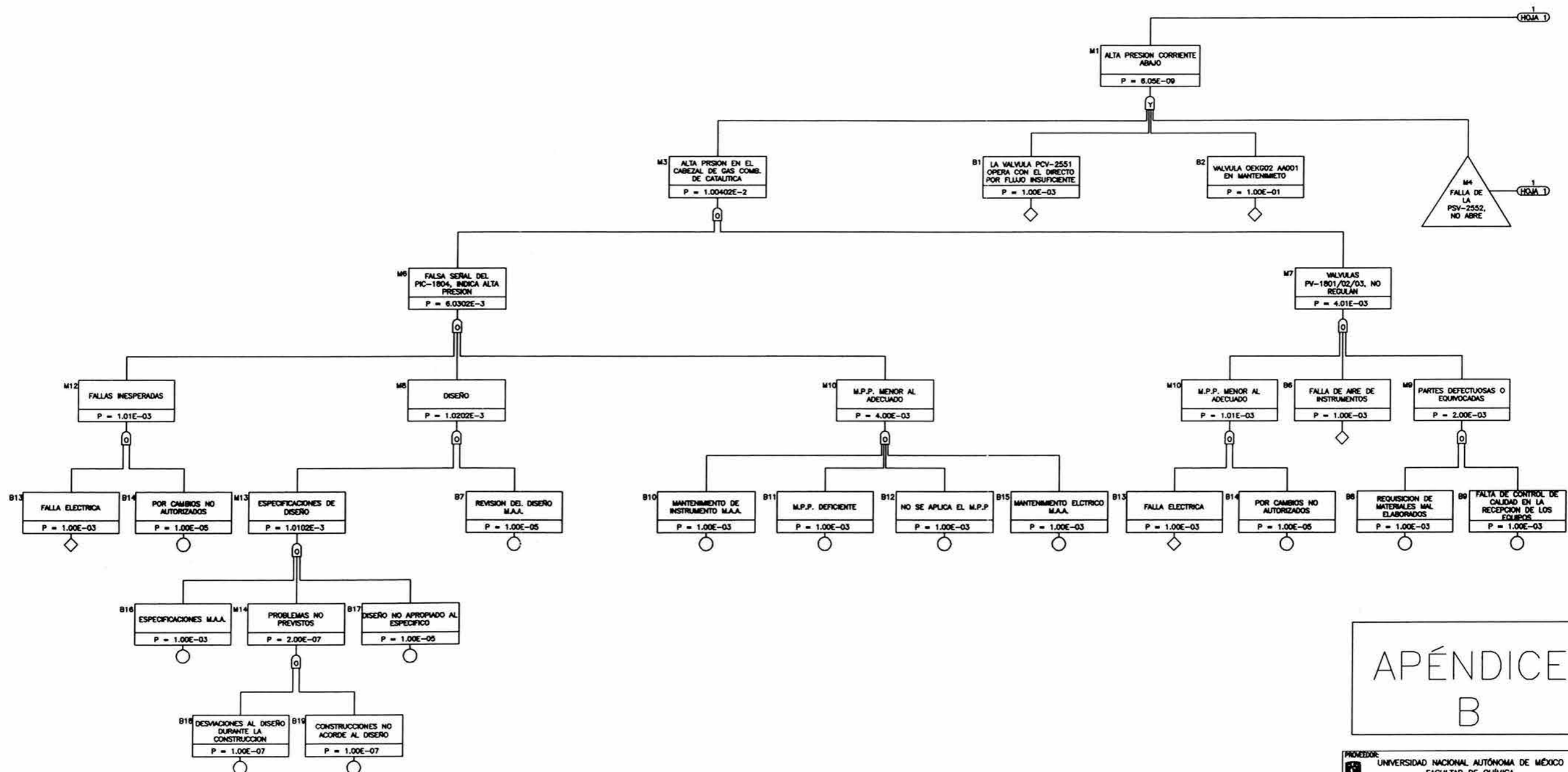
PROVEEDOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE QUÍMICA
 CONJUNTO E, LAB. 212

TÍTULO DEL PROYECTO: PLANTA DE SERVICIOS AUXILIARES No.1
 ANALISIS DE ARBOL DE FALLAS
 ALTA PRESION EN EL TANQUE DE GAS COMBUSTIBLE 283-V

NÚM. DE PROYECTO: FQ-364/2003
 FECHA DE REVISIÓN: 30-NOV-03

ÁREA O SECTOR: SECTOR 5A
 REVISOR: 1

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
ALTA PRESION EN EL TANQUE DE GAS COMBUSTIBLE 283-V	0.106	0.1007 VECES/AÑO



APÉNDICE B

PROYECTOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 FACULTAD DE QUÍMICA
 CONJUNTO E, LAB. 212
TÍTULO DEL PROYECTO: PLANTA DE SERVICIOS AUXILIARES No.1
 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS
 ALTA PRESION EN EL TANQUE DE
 GAS COMBUSTIBLE 283-V
NÚM. DE PROYECTO: FQ-364/2003 **PÁG. DE DIBUJO:** FQ-364-FSA-FTA-01-2/2
ÁREA O SECTOR: SECTOR 5A **FECHA DE RECEPCIÓN:** 30-NOV-03 **REVISOR:** 1



APÉNDICE C

Fuga de gases y sustancias tóxicas.¹

Como los gases se expanden indefinidamente hasta ocupar el recipiente que los contiene, su estado físico representa una gran preocupación, independientemente del riesgo del producto. En caso de fuga, los gases tienden a ocupar todo el ambiente incluso cuando poseen una densidad diferente de la del aire.

Además del riesgo inherente al estado físico, los gases pueden presentar otros riesgos como inflamabilidad, toxicidad, poder de oxidación y corrosión, entre otros. Algunos gases, como el cloro, presentan olor y color característicos, mientras que otros, como el monóxido de carbono, no presentan ni olor ni coloración, lo que puede dificultar su identificación en la atmósfera y las medidas de control durante una fuga eventual.

Una vez liberados, los gases licuados por acción de la presión y/o temperatura, tienden a retomar a su estado natural en las condiciones ambientales, es decir, a su estado gaseoso. Durante el cambio de estado líquido a gaseoso, el producto se expande considerablemente y genera volúmenes gaseosos mucho mayores que el volumen ocupado por el líquido. Esto se denomina tasa de expansión. El cloro, por ejemplo, tiene una tasa de expansión de 457 veces, es decir, un volumen de cloro líquido genera 457 volúmenes de cloro gaseoso.

Para reducir la tasa de evaporación del producto, se puede aplicar una capa de espuma sobre el charco formado, siempre y cuando este material sea compatible con el producto vertido.

En las fugas de productos licuados se deberá dar prioridad a la fuga en la fase gaseosa y no a la fuga en la fase líquida. Una propiedad fisicoquímica relevante durante la atención a las fugas de gases es la densidad del producto en relación con la del aire. Los gases más densos que el aire tienden a acumularse en el nivel del suelo y, por consiguiente, tendrán una dispersión difícil comparada con la de los gases con una densidad próxima o inferior a la del aire.

Así, en ambientes confinados, se debe monitorear constantemente la concentración de oxígeno. En las situaciones en las que la concentración de oxígeno es inferior a 19,5%, se deberán

¹ **“Fenómenos peligrosos”**, http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Fen_pel.htm



adoptar medidas para restablecer el nivel normal de oxígeno, es decir, un volumen de aproximadamente 21%. Estas medidas consisten básicamente en ventilación, natural o forzada, del ambiente.

Las sustancias tóxicas pueden ingeridas, inhaladas o puestas en contacto con la piel, incluso en pequeñas cantidades, pueden provocar la muerte o daños a la salud humana. Las vías por las que los productos químicos pueden entrar en contacto con el organismo son tres:

- ◆ Inhalación.
- ◆ Absorción cutánea.
- ◆ Ingestión.

La inhalación es la vía de entrada más rápida. La gran superficie de los alvéolos pulmonares, que representan de 80 a 90 m² en un hombre adulto, facilita la absorción de gases y vapores, que pueden pasar a la corriente sanguínea y ser distribuidos a otras regiones del organismo.

En relación con la absorción cutánea, se puede decir que las sustancias tóxicas pueden actuar de dos formas. Primero, como tóxico localizado, cuando el producto que entra en contacto con la piel actúa en su superficie y causa una irritación primaria y localizada y segundo, como tóxico generalizado, cuando la sustancia tóxica actúa con las proteínas de la piel o incluso penetra a través de ella, llega a la sangre y se dispersa por el organismo, con el riesgo de llegar a varios órganos.

Si bien la piel y la grasa actúan como una barrera protectora del cuerpo, algunas sustancias como el ácido cianhídrico, el mercurio y algunos plaguicidas tienen la capacidad de penetrar a través de la piel.

En cuanto a la ingestión, esta se considera una vía secundaria de ingreso, ya que el hecho solo ocurrirá accidentalmente.

Fenómenos mecánicos peligrosos.²

Una onda de presión consiste en compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico, que se traducen en efectos mecánicos transitorios sobre los elementos inertes o los

² Idem.



seres vivos. Son provocadas generalmente por explosiones o por el equilibrado rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve. Si la energía necesaria para la expansión del gas procede de un fenómeno físico, se dice que la explosión es física y se requiere que la materia se encuentre confinada en un recipiente estanco (estallido). Si la energía procede de una reacción química, se trata de una explosión química (explosión). En este caso, la explosión puede ocurrir aunque la materia no esté confinada.

Los efectos de la onda de presión pueden clasificarse como sigue:

Efectos primarios. Tienen su origen en las compresiones y expansiones del aire atmosférico que pueden producir fenómenos de deformación y vibratorios que afecten a las estructuras de los edificios e instalaciones y a los organismos vivos.

Efectos secundarios. Tienen lugar cuando las deformaciones y tensiones dinámicas producidas superan las características de resistencia de las estructuras y éstas fallan.

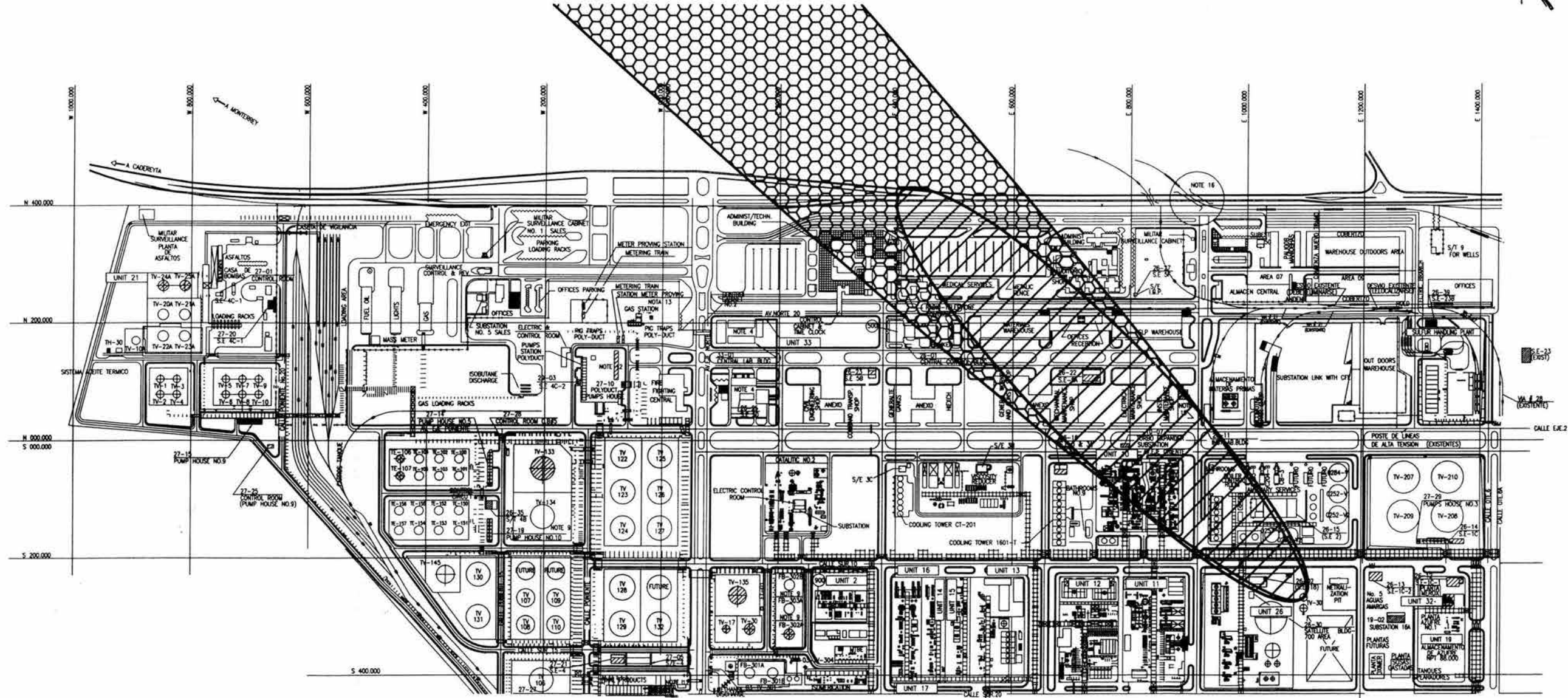
Efectos terciarios. Consisten en los daños causados por el desplazamiento del cuerpo de seres vivos e impacto del mismo contra el suelo u otros obstáculos.

Fenómenos térmicos peligrosos.

Son provocados por la oxidación rápida, no explosiva de sustancias inflamables, produciendo llama. Está puede ser estacionaria, como en el incendio de charco o el dardo de fuego o progresiva, pero en todos los casos disipa la energía de combustión mayoritariamente por radiación térmica.

La radiación, que puede afectar a seres vivos e instalaciones a cierta distancia, consiste en ondas electromagnéticas. La radiación originada por las sustancias en combustión, corresponde a la banda de longitudes de onda entre 0,1 y 1.000 μm , y se denomina radiación térmica. Su espectro y efectos dependen básicamente de la temperatura de la llama, de su forma geométrica y de la transmisividad del medio.

Si la materia sobre la que incide el flujo de radiación térmica no puede disiparlo a la misma velocidad que lo recibe, éste provoca un incremento de la temperatura de la misma. Si este incremento no se limita, se producen alteraciones irreversibles y catastróficas, que pueden culminar en la combustión o fusión y volatilización de la materia expuesta. En las proximidades del punto donde se desarrolla la llama se produce la transmisión del calor tanto por convección como por radiación y conducción.



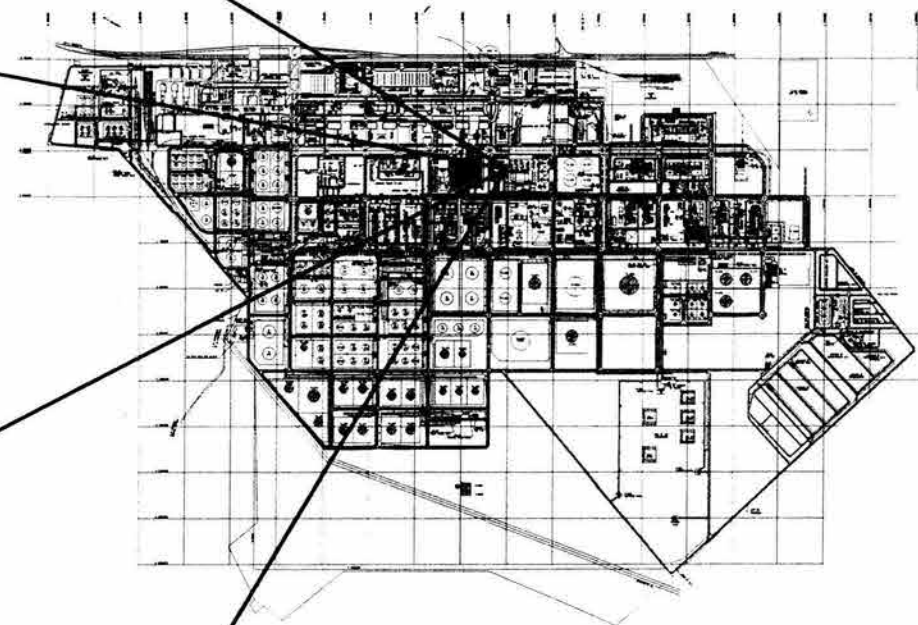
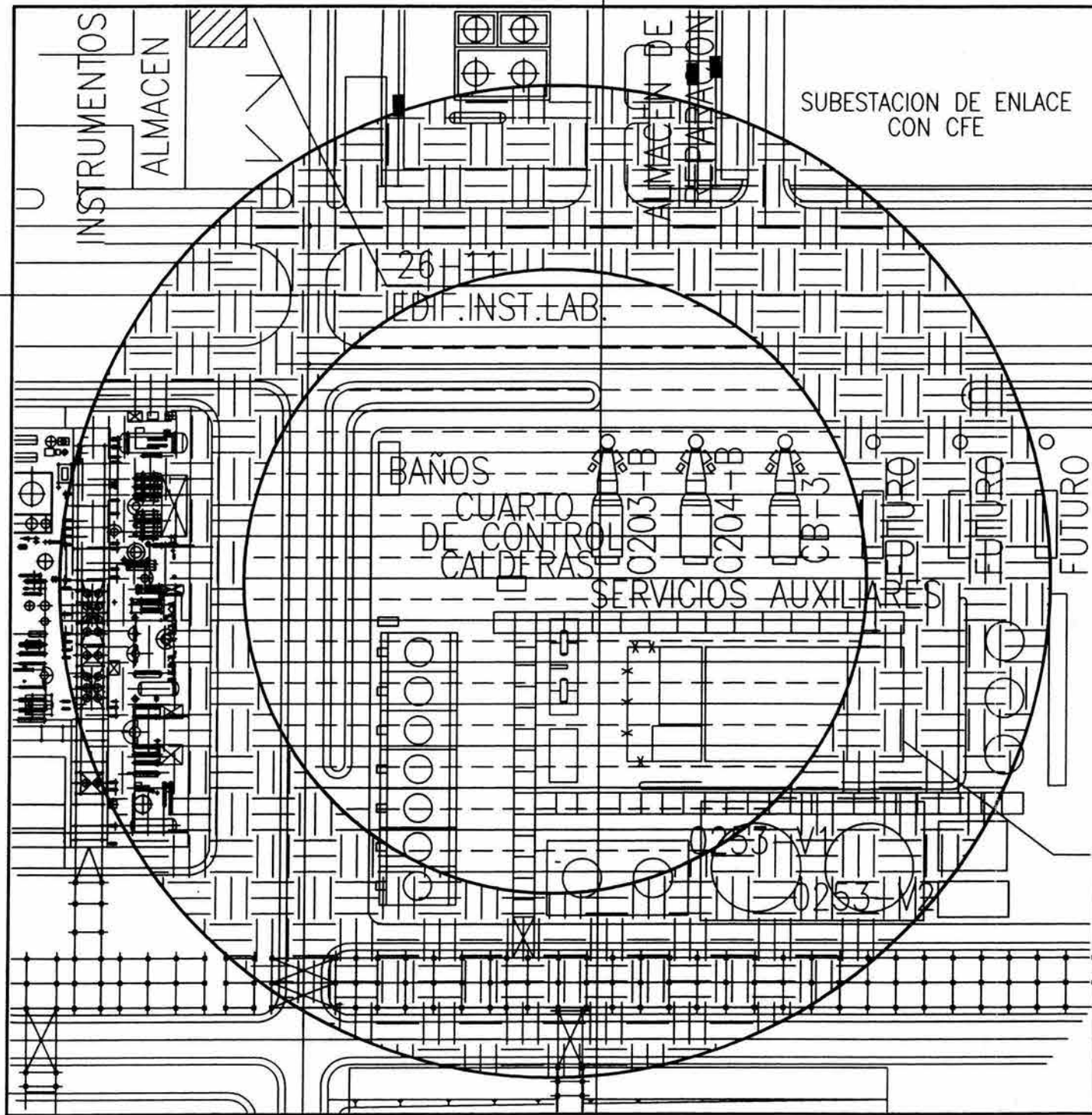
EVENTO	LUGAR	VEL. DEL VIENTO	CATEGORIA
FUGA DE CLORO AMARRADO EN UN CILINDRO DEL TANQUE TV-30 DE LA PTA. POTABILIZADORA.	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA	5.5 m/s	F

EL PRESENTE DIAGRAMA FO-364-AC-TA-01, SE UTILIZA PARA EL EVENTO DE ANALISIS DE CONSECUENCIAS DE LA PLANTA TRATAMIENTO DE AGUA, Y NO SUSTITUYE AL DIAGRAMA ORIGINAL OS0998-27-30-0-0001

INDICES DE AFECTACION	NIVELES DE TOXICIDAD (ppm)	DESCRIPCION DEL DADO
879.032 m ZONA DE AFECTACION	IDLH (30)	EL DIAGRAMA MUESTRA QUE EN UN AREA DE 879 m. HAY DADOS AL PERSONAL, EQUIPOS Y AL AMBIENTE POR LA FUGA DE CLORO AMARRADO EN UN CILINDRO.
10410.3 m ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	TLV (1)	DESPUES DE 10410 m. SE CONSIDERA COMO ZONA DE AMORTIGUAMIENTO, EN LA CUAL PUEDE ESTAR EL PERSONAL SIN EQUIPO DE PROTECCION.

APÉNDICE C

PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA
 FUGA DE CLORO AMARRADO EN UN CILINDRO DEL TANQUE TV-30 DE LA PTA. POTABILIZADORA.
 FO-364-AC-TA-01
 1/4000 NOV-30-03



NOTAS:

1. ESTE DIAGRAMA FUE TOMADO DEL PLOT PLAN DE LA REFINERIA ING. HECTOR R. LARA SOSA. DIAG. 27-30-0-0001



EVENO	LUGAR	VEL. DEL VIENTO	CATEGORIA
FUGA DE GAS COMBUSTIBLE EN EL TANQUE ACUMULADOR 283-Y	PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS AUXILIARES No1	5.5 m/s	F

RADIOS DE AFECTACION	NIVELES DE SOBREPRESION	DESCRIPCION DEL DAÑO
448.74m	1 lb/pulg ²	DEFORMACION PERMAN. DE OBRAS Y BARRAS REPARABLES A SERVICIO. TR. RUMPAJES DE TRAMPA, CR. DE VENTIL. POR FRENTELLAS. TORN. DE ANCHURAS.
3633.34m	1/2 lb/pulg ²	COLAPSO PERMAN. DE TORNOS Y PAREDES DE OBRAS SIN. DE EXCLUSION (MEDIOS).

APÉNDICE C

TITULO: PLANTA DE FUERZA Y SERVICIOS AUXILIARES No1 PARA GAS COMBUSTIBLE EN EL TANQUE ACUMULADOR 283-Y
 NO. DE PLAN: FQ-364-AC-FSA-001
 FECHA: 30-NOV-03



Bibliografía.

BIBLIOGRAFÍA.

UNIVERSIDAD
NACIONAL
AUTÓNOMA
DE
MÉXICO



BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

- ◆ Santamaría, Ramiro, J. M. y Braña A., **"Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química"**, España, Fundación MAPFRE. 1994.
- ◆ Cruz Estrada María de Lourdes, **"Metodología de Evaluación de Riesgos en Plantas de Proceso"**, CRES-ESIQIE. 1995. IPN. México.
- ◆ C.Florentini y F. De Vecchi (TECSA S.p.A, Italia);E. P. Lander (ATR Applied Training Resources, EE.UU.); C. Vilagut Orta (TECSA Iberica,S.A), **"Gestión de la Seguridad de los Procesos-Soporte al Funcionamiento y Sistemas de Formación. Ingeniería Química"**, Septiembre. 1997.
- ◆ 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.
- ◆ Cifuentes Luis, **"Análisis de Riesgo Probabilístico"**, IMM3100 Gestión Ambiental. Análisis de Riesgo Ambiental - Eventos de Baja Probabilidad de Ocurrencia. Pontificia Universidad Católica de Chile, Octubre, Chile, 2001.
- ◆ Rodellar Lisa Adolfo, **"Seguridad e higiene en el trabajo."**, Marcombo Boixareu editores, Barcelona España, 1988, p.39.

ARTÍCULOS:

- ◆ **"Taller de analisis de riesgos y operabilidad"**, UNAM-Facultad de Química, Mexico, 1999, p.29.
- ◆ **"Hazard Assesment and Risk Analysis Techniques for Process Industries"**, México City, IMP, 1994.
- ◆ González Machín Diego, **"Curso de Autoaprendizaje en Prevención, Preparación y Respuesta para desastres por Productos Químicos"**, 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), Sao Paulo, Brasil, Abril 2002.
- ◆ Francisco González Cubero. Luis Moneo Peco, J. A. Vilchez, Xavier Pérez-Alavedra, **"Riesgo Industrial: Análisis, Cálculos y Representación de Consecuencias"**, Consejería de Tecnología, Industria y Comercio, región de Murcia. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Zaragoza, España, Marzo 2002.



- ◆ **“Manual de Operación de la Planta de Fuerza y Servicios Auxiliares de la Refinería Ing. Héctor R. Lara Sosa de Cadereyta, Jiménez Nuevo León”**, PEMEX, México, 2003.
- ◆ **“Curso General para Operadores de la Planta de Fuerza y Servicios Auxiliares de la Refinería “Ing. Héctor R. Lara Sosa” de Cadereyta, Jiménez Nuevo León”**, PEMEX, México, 2003.
- ◆ **“Manual del SIASPA”**, Sección 4.0, SIASPA PEMEX, México, Marzo 2001.
- ◆ Espinosa Aguirre Javier, tesis **“Análisis de Riesgos en la Sección de Destilación Atmosférica de una Planta Primaria de la Refinería Miguel Hidalgo de Tula Hidalgo”**. México, UNAM, 2003.

INTERNET:

- ◆ Espinosa Ortiz S. Enrique, **“Procuraduría Federal de Protección al Ambiente. Subprocuraduría de Auditoría Ambiental”**, Abril de 2002. México.
<http://www.profepa.gob.mx/saa/audita27.htm>
- ◆ **“Petróleos Mexicanos-Informes”**. 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”**, <http://www.redminera.com/Contenido/Codanexoc.htm>, Chile, 2001.
- ◆ Sandler Perdick, Mc Edowney Leverenz. **“Making Process Safety of Sustaining Performance in the 21th Century”**, <http://google.com>
- ◆ Zepeda Ramos Oscar, **“Diagnóstico de Peligros e Identificación de Riesgos de Desastres en México”**, <http://cenapred.com/>
- ◆ <http://www.ine.gob.mx/>
- ◆ <http://www.pemex.com/>
- ◆ <http://www.semarnat.com/>
- ◆ <http://www.imp.com/>
- ◆ **“Intranet PEMEX”**, <http://143.178.1.57/conozcanos/semblanza.htm>, México.



- ◆ **“Guía técnica: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos”**,
http://server.proteccioncivil.org/centrodoc/guiatec/Metodos_cualitativos/cuali_212.htm,
México.
- ◆ **“Fenómenos peligrosos”**,
http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Fen_pel.htm
- ◆ Enríquez Rubio Armando, **“Práctica de la Administración de Riesgos y Seguros para Empresas Industriales en México 2003”**, México, 2003.
<http://www.riskmexico.com/cgi/inicio.asp>

SOFTWARE:

- ◆ **“Hazop Wizard versión 2.13”**, para Access 200/xp ©UNAM, Facultad de Química, UNAM, 2002.
- ◆ **“PHAST”** (Process Hazard Analysis Software Tools), Versión 6.0., USA.
- ◆ Enciclopedia® Microsoft® Encarta 2001, **“Accidente”**, Microsoft Corporation © 1993-2000.