

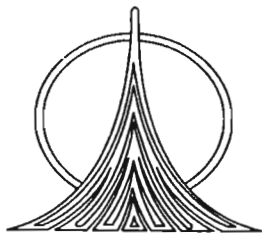


# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

"ANÁLISIS DE RIESGOS DE PROCESO EN UNA PLANTA  
TGTU (TAIL GAS TREATING UNIT), UNIDAD DE  
TRATAMIENTO DE GAS DE COLA DE UNA REFINERÍA"

T E S I S  
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERA QUÍMICA  
P R E S E N T A :  
GUADALUPE MARTÍNEZ PONCE



Unidad en la Diversidad  
Zaragoza Frente al Siglo XXI

ASESOR: DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ

MEXICO, D.F.

2005

m350398



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/005/05**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNO: MARTÍNEZ PONCE GUADALUPE**  
**P r e s e n t e.**

En respuesta a su solicitud de asignación de jurado, la jefatura a mi cargo, ha propuesto a los siguientes sinodales:

<b>PRESIDENTE</b>	<b>M. en A. Teresa Guerra Dávila</b>
<b>VOCAL</b>	<b>Dr. M. Javier Cruz Gómez</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>I.Q. Salvador Gallegos Ramales</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>M. en I. Pablo Eduardo Valero Tejeda</b>
<b>SUPLENTE</b>	<b>I.Q. Julio Félix Martínez Reyes</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t e n t a m e n t e**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**  
México, D.F., 02 de Febrero del 2005.

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**M. EN C. ANDRES AQUINO CANCHOLA**

## AGRADECIMIENTOS

---

---

Gracias a Dios por haberme permitido terminar una etapa más en mi vida, a pesar de todas las adversidades encontradas en mi camino. Gracias a Dios por permitirse vivir.

A mis padres por apoyarme siempre, y nunca dejarme caer, porque gracias a ustedes y por haberme enseñado buenos principios, soy lo que soy, LOS AMO. Gracias por además ser mis amigos. Ustedes son mi inspiración para seguir adelante y nunca dejar de luchar por lo que quiero.

A mis hermanas, por estar conmigo siempre en las buenas y en las malas, porque han sido mis mejores amigas. Gracias por haber creído en mí.

Al amor de mi vida LEONEL por estar conmigo y compartir momentos muy importantes para mí. Doy gracias a Dios por haberte puesto en mi camino. TE AMO. Recuerda que siempre te voy a AMAR.

A la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO por haberme abierto sus puertas y haber confiado en mí.

A todos los profesores, por su paciencia y dedicación, por la aportación de sus conocimientos que me brindaron sin egoísmo.

Al Dr. M. Javier Cruz Gómez, por haberme dado la oportunidad de colaborar con su grupo de trabajo.

A la Refinería Héctor Lara Sosa, por su apoyo para la realización de la presente tesis. Pues sin su colaboración este camino hubiese sido tal vez más difícil.

Al Honorable Jurado, que con paciencia y dedicación: revisaron y evaluaron mi tesis.

A mis amigos del CCH-oriente, Laura y Sergio, pues ustedes son un apoyo muy importante en mi vida, gracias por sus consejos y paciencia.

A mi amiga Tania por haber compartido conmigo muchos momentos importantes en mi vida, y haberme ayudado cuando la necesite. Gracias por todos esos momentos.

A mi hermano Orlando, por ser parte de mi familia, y por hacer que los momentos de trabajo no fueran aburridos.

A Carlos Andrés, que a pesar de ser como eres, me haz demostrado que eres un muy buen amigo. Gracias por tu amistad.

---

---

U N A M

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA



## AGRADECIMIENTOS

---

A mis amigos de la FES-ZARAGOZA, por brindarme siempre e incondicionalmente su amistad: CESAR (frijolito), RAÚL (robavacas), JORGE, JOSÉ (Che), JULIO CESAR (chachito), ENRIQUE (tortuga), PEDRO (capitán cavernícola) JOSE JUAN, ISRAEL (gato), AARON, FABIAN, JAIME, MARCO ANTONIO (cariguau), IVÁN CUAHUTEMOC, PONCHO, MARTÍN, SADYA, PONCHO (alacranes), ADRIANA, VIOLETA, HUGO, GERARDO, SERGIO, CARLOS OLIVO, IVÁN LÓPEZ, IVÁN IRÁN, KAREN PANIAGUA, RICARDO GARCÍA, XOCHITL, RAUL MONTALVO, BALMORE y a todos los que de alguna manera siempre estuvieron ahí.

A mis compañeros de trabajo del CEASPA,, Ramón, Esmeralda, Fanny, Martha, José, Daniel, Mario, Hugo, Fermín, Aldo, y a todos los que han colaborado para que el trabajo sea placentero.

Gracias a todas las personas que forman parte de mi vida, y han hecho que todo esto sea realidad.



## ÍNDICE GENERAL

	PÁG.
<b>RESUMEN</b> .....	1
<b>INTRODUCCIÓN</b>	
1. Objetivos del proyecto.....	4
2. Alcance del estudio HazOp para el proyecto.....	4
<b>CAPITULO I. MARCO TEÓRICO</b>	
1.1. Antecedentes de análisis de riesgo.....	7
1.2. Riesgo.....	9
1.2.1. Aspectos a tratar en los análisis de riesgos.....	10
1.2.2. Accidentes.....	10
1.2.3. Peligro.....	11
1.2.3.1. Cuando conducir a una revisión de peligro.....	11
1.2.3.2. Preparándose para una revisión de peligro.....	13
1.2.3.3. Empezando una revisión de peligros.....	14
1.2.3.4. Responsabilidades del líder de proyecto.....	14
1.3. Métodos de evaluación de peligros	
1.3.1. ¿Qué pasa si...?/lista de verificación (what if...?)/checklist.....	17
1.3.2. Análisis de peligro y operabilidad (HAZOP).....	17
1.3.3. Modo de falla y análisis de efectos (FMEA).....	17
1.3.4. Análisis de árbol de fallas (FTA).....	18
1.4. Procedimiento de evaluación de riesgos	
1.4.1. ¿Qué pasa si...?/lista de verificación	
1.4.1.1. Concepto.....	20
1.4.1.2. Procedimiento del ¿Qué pasa si...? lista de verificación.....	20
1.4.2. Análisis de peligro y operabilidad (HazOp)	
1.4.2.1. Concepto.....	21
1.4.2.2. Introducción al HazOp.....	22
1.4.2.3. Interpretación de las hojas de trabajo HazOp.....	23
1.4.2.4. Evaluación de los niveles de riesgo con la técnica HazOp.....	26
1.4.2.5. Matriz de riesgo.....	27
1.4.2.6. Metodología del HazOp.....	29
1.4.2.7. Técnica del HazOp.....	29
1.4.3. Modo de falla y análisis de efectos (FMEA)	
1.4.3.1. Concepto.....	29
1.4.3.2. Procedimiento del FMEA.....	30
1.4.3.3. Definición del propósito, objetivos y alcance del estudio.....	30
1.4.3.4. Definición del problema y condiciones límite.....	30
1.4.3.5. Completar la tabla del FMEA.....	31
1.4.4. Árbol de fallas	
1.4.4.1. Historia.....	32
1.4.4.2. Objetivos del árbol de fallas.....	33
1.4.4.3. Concepto y representación gráfica para el árbol de fallas.....	33



## ÍNDICE GENERAL

PÁG.

1.4.4.4. Términos usados para el árbol de fallas.....	36
1.4.4.5. Metodología del árbol de fallas.....	36
1.4.4.6. Ventajas del árbol de fallas.....	37
1.4.5. Análisis de consecuencias	
1.4.5.1. Concepto.....	39
1.4.5.2. Incendios y explosiones.....	39
1.4.5.3. Inflamabilidad.....	40
1.4.5.4. Tipos de explosiones.....	42
1.4.5.5. Elementos que se obtienen del análisis de consecuencias.....	43
<b>CAPITULO II. TRABAJO EN CAMPO</b>	
2.1. Descripción del proceso para recuperadora de Azufre I.....	45
2.2. Descripción del proceso para la unidad de tratamiento de gas de cola.....	55
2.3. Circuitos seleccionados	
2.3.1. Diagramas utilizados para las sesiones HazOp.....	62
2.3.2. Criterios para seleccionar los nodos.....	63
2.3.3. Nodos seleccionados.....	63
2.4. Análisis de árbol de fallas.....	65
2.4.1. Descripción de los escenarios para el análisis FTA.....	66
2.5. Análisis de consecuencias.....	69
2.5.1. Consideraciones para el análisis de consecuencias.....	70
2.5.2. Niveles de toxicidad para plan de respuesta a emergencias.....	71
2.5.3. Descripción del escenario de accidente.....	75
2.5.4. Datos requeridos para el escenario.....	76
<b>CAPITULO III. RESULTADOS Y CONCLUSIONES</b>	
3.1. HazOp: Unidad de tratamiento de gas de cola (UTGC).....	78
3.2. Resultados y conclusiones para el estudio HazOp.....	99
3.2.1. Registro de recomendaciones del análisis de riesgos de la unidad tratadora de gas de cola (UTGC).....	102
3.2.2. Conclusiones del estudio HazOp.....	105
3.3. Resultados y conclusiones para el análisis del árbol de fallas	
3.3.1. Diagramas de árbol de fallas.....	106
3.3.2. Cálculo del árbol de fallas con la técnica de conjuntos mínimos	
3.3.2.1. Árbol de fallas para los daños en la chimenea EM-1045 por alta temperatura.....	110
3.3.2.2. Árbol de fallas para la baja temperatura en el reactor cataítico DC-2001.....	113
3.3.3. Conclusiones del análisis de árbol de fallas.....	115
3.4. Resultados y conclusiones para el análisis de consecuencias.....	119
3.4.1. Diagramas del análisis de consecuencias.....	125
3.5. Conclusiones generales del proyecto.....	127



**ÍNDICE GENERAL**

**PÁG.**

<b>GLOSARIO .....</b>	<b>128</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>132</b>
<b>APÉNDICE A. Panorama general del SIASPA .....</b>	<b>134</b>
<b>APÉNDICE B. Gestión y bases jurídicas en materia en riesgo ambiental .....</b>	<b>137</b>
<b>APÉNDICE C. Propiedades de los compuestos más importantes en el proceso de la UTGC .....</b>	<b>140</b>
<b>APÉNDICE D. Resumen de los sistemas de análisis de riesgo .....</b>	<b>155</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla 1. Historial de accidentes importantes en la industria.....	8
Tabla 2. Sugerencias de frecuencias para la revisión de peligros.....	12
Tabla 3. Principales métodos utilizados en la identificación de riesgos.....	16
Tabla 4. Métodos y observaciones.....	19
Tabla 5. Niveles de frecuencia.....	26
Tabla 6. Niveles de gravedad.....	27
Tabla 7. Simbología del análisis de árbol de fallas.....	35
Tabla 8. Probabilidades.....	37
Tabla 9. Diagramas de tubería e instrumentación utilizados en el HazOp de la UTGC.....	62
Tabla 10. Reglas booleanas de uso frecuente en el análisis de árbol de fallas.....	65
Tabla 11. Descripción del escenario de los daños a la chimenea EM-1045 por alta Temperatura.....	67
Tabla 12. Descripción del escenario de baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001.....	68
Tabla 13. Criterios por el INE para análisis de riesgos.....	71
Tabla 14. Niveles de radiación.....	72
Tabla 15. Niveles de sobrepresión.....	72
Tabla 16. Daños en plantas y refinerías.....	73
Tabla 17. Descripción del escenario de incendio y explosión.....	75
Tabla 18. Fuga de ácido sulfhídrico en la línea de salida del FA-2002 hacia la planta Recuperadora de azufre I.....	76
Tabla 19. Frecuencias que se utilizan para la estimación de riesgos.....	78
Tabla 20. Gravedades que se utilizan para la estimación de riesgos.....	79
Tabla 21. Lista jerárquica de recomendaciones.....	99
Tabla 22. Lista de buenas prácticas.....	103
Tabla 23. Relación de diagramas de árbol de fallas.....	106
Tabla 24. Expresión booleana para el escenario de daños a la chimenea em-1045 por alta Temperatura.....	110
Tabla 25. Eventos básicos con sus probabilidades de daños a la chimenea EM-14054 Por alta temperatura.....	111
Tabla 26. Cálculos de conjuntos mínimos y probabilidades de daños a la chimenea EM-1405 por alta temperatura.....	112
Tabla 27. Expresión booleana para el escenario baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001.....	113
Tabla 28. Eventos básicos con sus propiedades del árbol de fallas para la baja temp. en el reactor catalítico DC-2001.....	114
Tabla 29. Cálculo de conjuntos mínimos y probabilidades para la baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001.....	114
Tabla 30. Recomendaciones para el escenario de los daños a la chimenea EM-1045.....	116
Tabla 31. Recomendaciones para el escenario de baja temperatura en el reactor Catalítico DC-2001.....	117
Tabla 32. Resultados de la descarga de H <sub>2</sub> S en línea de salida del FA-2002.....	119
Tabla 33. Riesgo por dardo de fuego (Jet Fire).....	120
Tabla 34. Niveles de radiación térmica por dardo de fuego (Jet Fire).....	120



### **ÍNDICE DE TABLAS**

	<b>PÁG.</b>
Tabla 35. Probabilidades de muerte por fuga de H <sub>2</sub> S en la línea de salida del acumulador FA-2002. ....	122
Tabla 36. Zona de alto riesgo y de amortiguamiento por fuga de H <sub>2</sub> S en la línea de salida del acumulador FA-2002. ....	122
Tabla 37. Resultados de concentración a distancias para respuesta a emergencias...	123
Tabla 38. Diagramas de análisis de consecuencias.....	125

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

Figura 1. Protocolo de la reunión de análisis de HazOp.....	25
Figura 2. Hojas de registro de sesiones HazOP.....	26
Figura 3. Matriz de riesgos.....	28
Figura 4. Hoja de análisis de un FMEA.....	32
Figura 5. Triángulo de fuego.....	39

### **ÍNDICE DE GRÁFICAS**

Grafica 1. Radiación térmica por dardo de fuego (Jet Fire).....	121
Grafica 2. Probabilidad de muerte.....	124



## LISTA DE ABREVIATURAS.

BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion.
CAER	Community Awareness & Emergency Responce (Respuesta a Emergencias y Advertencia a la Comunidad).
DFP	Diagrama de Flujo de Proceso.
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación.
ETA	Even Tree Analysis.
F	Frecuencia.
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis.
FTA	Fault Tree Analysis.
G	Gravedad.
HazOp	Hazard and Operability.
ET	Event Tree.
TGTU	Tail Gas Treating Unit (Unidad de Tratamiento de Gas de Cola).
TLV	Threshold Limit Valve.
SIASPA	Sistema Integral de la Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental.
STEL	Short Term Exposure Limits.



## RESUMEN

En los últimos tiempos se han suscitado muchos accidentes en la industria química, en específico la industria petrolera forma parte de las industrias imprescindibles para el desarrollo de los países, pero a su vez son fuente de peligro para el hombre. Un accidente en una instalación química podría afectar al personal que labora en ella. Sin embargo, es preciso tomar en cuenta además, que tales afectaciones podrían extenderse a la población que habita en sus cercanías si el accidente adquiere dimensiones catastróficas.

El análisis de riesgo ha demostrado ser una herramienta eficaz para minimizar accidentes, mediante la toma de decisiones oportunas. Es por eso que en la actualidad es muy importante este tipo de análisis. En la presente tesis se pretende llevar a cabo un análisis de riesgos de proceso mediante el método HAZOP (Análisis de Peligros y Operabilidad), Análisis de Fallas y Análisis de Consecuencias, para conocer los posibles accidentes que pueden ocurrir en la planta "Tratadora de Gas de Cola", para así poder contribuir a una mejor seguridad y prevención de accidentes.

En el capítulo I, se mencionan los antecedentes de análisis de riesgo de una forma breve, los métodos de evaluación de riesgos: What if...?/Check list, Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP), Modo de Falla y Análisis de Efectos (FMEA), Análisis de árbol de fallas (FTA) y Análisis de Consecuencias. En el capítulo II se presenta el trabajo realizado en campo; así como la descripción y diagrama del proceso. En el capítulo III se presentan los resultados y conclusiones para cada uno de los métodos utilizados en la presente tesis. Se presenta además un glosario para mayor entendimiento de las siglas que aquí se mencionan, así como la bibliografía y una serie de apéndices.





# INTRODUCCIÓN



Petróleos Mexicanos (PEMEX) es una organización cuyo impacto social tiene gran trascendencia en el contexto nacional y en la opinión pública no existe un conocimiento pleno de la magnitud de los riesgos que existen en una industria tan compleja como la petrolera, en la que su operación diaria involucra el manejo y proceso de materiales combustibles, inflamables, explosivos, corrosivos o tóxicos. Por ello, se considera necesario dar a conocer los conceptos bajo los cuales se sustentan los programas que realiza la Institución para que sus instalaciones operen en las mejores condiciones de seguridad. PEMEX considera prioritarios los aspectos de seguridad en sus instalaciones, particularmente en las de carácter industrial tales como campos productores, refinerías, complejos petroquímicos, plantas de gas, terminales, plataformas marítimas y terminales de almacenamiento y distribución.

Durante la operación normal y en la ejecución de trabajos de mantenimiento se aplican las normas y procedimientos de seguridad y se cuenta con técnicos especialistas que se capacitan y adiestran en simulacros operacionales y contra incendios. Los programas de mantenimiento preventivo y correctivo son los de mayor importancia para la seguridad de las plantas industriales. En ellos se verifica el estado físico de las instalaciones y se realizan inspecciones de riesgo, auditorías de seguridad, calibración de espesores y pruebas no destructivas, entre otros. La seguridad industrial es una exigencia de muy elevado rango en una empresa que está obligada a desempeñarse con un alto índice de productividad.

Conciente de la importancia de sus funciones y del cuidado que requiere cada proceso llevado a cabo dentro de las plantas, también tiene como objetivo principal la seguridad de sus trabajadores e instalaciones. PEMEX por ser la industria más grande de nuestro país debe ser líder nacional en todos los aspectos relativos a la seguridad industrial y protección ambiental. 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 prevención de la contaminación y la salud de la comunidad, es tomada en cuenta, mediante la reducción continua de residuos, vertidos líquidos y emisiones atmosféricas al aire, agua y suelo, son puntos muy importantes en la industria petroquímica. Se busca prevenir incendios, explosiones o fugas accidentales de sustancias o productos químicos en las instalaciones, considerando el principio de que estas funcionarán en forma segura, cumpliendo prácticas adecuadas de diseño, construcción, operación, mantenimiento y auditorías periódicas. El primer requisito para una gestión y evaluación del riesgo industrial es la identificación de los distintos accidentes que pueden producirse en las instalaciones.



En la industria química, los accidentes suelen ser el resultado de unas condiciones de proceso inadecuadas para las diversas características físicas y químicas de los materiales y de las sustancias. Estas condiciones, excepto en el caso de fallas de diseño, suelen ser desviaciones de las condiciones normales de funcionamiento y se presentan como problemas no siempre evidentes desde la experiencia operativa. El proceso racional de identificación se realiza en dos fases bien diferenciadas: la primera para detectar posibles accidentes, y la segunda para la caracterización de sus causas, o sea, los sucesos o cadenas de sucesos que provoca el incidente no deseado. Entre las técnicas para identificar cabe destacar los métodos descritos en las notas técnicas de prevención editadas por el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo desde el año 1989, y las Guías Técnicas editadas por la Dirección General de Protección Civil.

Dentro de esta tesis se mencionan y describen algunas técnicas de identificación y evaluación de riesgos.



## **1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.**

El presente proyecto de tesis tiene como principales objetivos los siguientes puntos:

- ⇒ Llevar a cabo un Estudio de Análisis de Riesgos de Proceso en una Planta (Tail Gas Treating Unit), Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC) de una refinaria.
- ⇒ Identificar y evaluar los riesgos en la planta.
- ⇒ Proponer medidas necesarias que permitan contribuir con una mejor seguridad y prevención de accidentes dentro de la planta.

## **2. ALCANCE DEL ESTUDIO DE HAZOP PARA EL PROYECTO.**

El alcance de este estudio consiste en realizar un Análisis de Riesgo de proceso en su modalidad HAZOP (Análisis de Peligros y Operabilidad) en una Planta (Tail Gas Treating Unit), Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC) de la Refinería Héctor R. Lara Sosa en Cadereyta, N.L., mediante la aplicación de las siguientes técnicas:

- ⇒ El Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP) de la **Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC)**.
- ⇒ Análisis de Árbol de Fallas (los escenarios desarrollados son: **1. Baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001; 2. Daños a la chimenea EM-1405 por alta temperatura de la Planta Recuperadora de Azufre**).
- ⇒ Análisis de Consecuencias (el escenario desarrollado es: **Fuga de ácido sulfhídrico en la línea de salida hacia la planta recuperadora de azufre 1, en el domo del acumulador FA-2002**).



### 3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.

La población en general tiene la creencia de que la industria química es una industria de alto riesgo ya que los accidentes que han ocurrido en la última mitad del siglo XX han provocado cuantiosas pérdidas humanas, materiales e impacto ambiental. El crecimiento desmedido de la industria química durante los últimos cincuenta años tanto en número de plantas industriales como en la capacidad de estas, ha propiciado un aumento en el número de personas que cada día pueden estar expuestas a las consecuencias de un accidente industrial. Esto ha propiciado una toma de conciencia sobre la seguridad industrial. El análisis de riesgos es una principal herramienta desarrollada dentro de la industria como respuesta para reducir o mitigar la frecuencia de accidentes, dado que, por muchas que sean las salvaguardas que se introduzcan, la actividad industrial implica un riesgo, que solo puede eliminarse si se elimina la propia industria. Puesto que es evidente que la industria química es necesaria en el mundo actual, la cuestión se reduce a decidir en que medida un riesgo puede ser aceptado en virtud de los beneficios que se derivan de asumirlo.

En la industria química el hombre crea nuevas técnicas de producción, buscando aprovechar de mejor manera las materias primas y los elementos tecnológicos de que dispone, esto lo lleva a enfrentarse con riesgos reales y potenciales diariamente, a los cuales se ve irremediamente expuesto.

La experiencia en la industria química ha generado métodos sistemáticos para minimizar y controlar estos riesgos, identificándolos y diseñando las condiciones para reducirlos.

Toda operación productiva tiene riesgos, pero hay métodos y técnicas que permiten identificarlos, acortarlos y minimizarlos. Los Análisis de Riesgos, que son de bajo costo, son una herramienta de mucha utilidad para identificar las causas, la forma en que se desarrollan y las consecuencias de un accidente.

PEMEX buscando ser una de las empresas líderes en materia de seguridad industrial y de protección ambiental esta en el proceso de implantación dentro de sus instalaciones del SIASPA, que es una herramienta para asegurar el cumplimiento de las políticas de seguridad, de protección al ambiente y normas internacionales.

El SIASPA está integrado por 18 elementos relacionados con el factor humano, los sistemas de trabajo y las instalaciones. (ver apéndice A).

El elemento número 12 de este sistema trata sobre los Análisis de Riesgos y tiene como objetivos:

- ⇒ Identificar riesgos a la salud, integridad física, al medio ambiente y a la propiedad.



- ⇒ Reducir los riesgos a los trabajadores y población circunvecina a las instalaciones, mediante técnicas adecuadas (medidas de prevención, protección y control) para controlarlos y reducirlos a niveles aceptables.
- ⇒ Reducción significativa de accidentes e impactos ambientales, sus consecuencias y costos asociados.
- ⇒ Lograr que el personal lleve a cabo sus actividades con plena conciencia de los riesgos que implica la operación.
- ⇒ Mejorar la operabilidad y confiabilidad de los equipos de proceso.
- ⇒ Establecer planes de emergencia y medidas de protección.

PEMEX Refinación preocupado por cada uno de los puntos del SIASPA y para poder dar seguimiento al punto 12 relacionado con los Análisis de Riesgos dentro de sus instalaciones acordó llevar a cabo un estudio en la Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC) de la Refinería Héctor R. Lara Sosa en Cadereyta, N.L.

Para realizar el estudio de riesgos mencionado anteriormente se desarrollaron las siguientes actividades:

- ⇒ Recopilación de información requerida para el estudio de riesgos.
- ⇒ Actualización de diagramas de tubería e instrumentación.
- ⇒ Desarrollo del Análisis de Peligros y Operabilidad "HAZOP" con un equipo multidisciplinario.
- ⇒ Obtener mediante la aplicación de la técnica de Análisis de Árbol de Fallas la probabilidad de ocurrencia de los escenarios seleccionados.
- ⇒ Obtener mediante el Análisis de Consecuencias los radios de afectación en el caso en el que el escenario de accidente seleccionado se llegara a materializar.



# CAPÍTULO I CAPÍTULO I MARCO TEÓRICO MARCO TEÓRICO



## 1.1. ANTECEDENTES DE ANÁLISIS DE RIESGOS.

A partir de los accidentes ocurridos en la industria del proceso químico a nivel mundial, surgió la necesidad de evaluar el riesgo potencial de ocurrencia de accidentes/incidentes en la misma, así como la búsqueda para la minimización de dichos riesgos o la reducción de las consecuencias debidas a un accidente/incidente; fue así como se dio origen al Análisis de Riesgo.

En México no fue sino hasta 1992 y después de la explosión en Guadalajara, Jalisco, cuando a través de decreto presidencial, se estableció la necesidad de elaborar Análisis de Riesgos a las industrias con alto potencial de riesgo dentro de sus procesos. Posteriormente se ha hecho extensiva esta determinación al total de la industria mexicana.

A continuación se presenta una breve reseña histórica de la evolución del Análisis de Riesgo a nivel mundial.

1920. Aparición de las primeras metodologías. La compañía Dupont decide ANALIZAR LOS ACCIDENTES catastróficos, de sus plantas de dinamita.

1960. Se desarrolla la metodología conocida como ANALISIS DE MODOS Y EFECTOS DE FALLA, la cual es una formalización al método WHAT IF...?/ ¿QUÉ PASA SI...?, ya empleado, por algunas industrias de proceso. Esta formalización es realizada por la industria aeroespacial de E.U.A.

1960. Durante esta década, es desarrollada la metodología conocida como HAZARD & OPERABILITY STUDIES (HAZOP), por la división Mond de la compañía inglesa ICI.

1962. Se desarrolla la metodología conocida como ÁRBOL DE FALLAS, por la misma industria aeroespacial, el cual es complementado por la industria nuclear de E.U.A.

1985. La Chemical Manufactures Association (CMA) establece las metodologías de Análisis de Riesgo, existentes en el mercado de E.U.A.

WHAT IF...?/¿QUÉ PASA SI...? HAZOP, CHECK LIST (LISTA DE VERIFICACIÓN), HAZAN, DOW INDEX & ICI MOND INDEX (INDICE DOW Y MOND).

1986. CCPA de Canadá (Asociación de productores de químicos), adopta el proceso CAER (COMMUNITY AWARENESS & EMERGENCY RESPONCE).

1988. CMA de E.U.A., adopta el proceso CAER como marco normativo sobre los códigos de seguridad, que deben observar todos sus socios.

1989. SEDESOL México, emite la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.





En cuyo capítulo de impacto Ambiental solicita ESTUDIOS DE RIESGO, a todo proyecto a registrarse, que maneje materiales o procesos que puedan afectar al medio ambiente o comunidad.

1990. SEDESOL emite el PRIMER LISTADO DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS.

1990. OSHA, publica su PROCESS SAFETY MANAGEMENT OF HIGLY HAZARDOUS CHEMICAL (Administración de la seguridad de los Procesos que Manejan Sustancias Químicas Altamente peligrosas), emitida en su diario oficial de julio 17, en donde incorporan los estudios de riesgo como un requisito oficial de todo proyecto e instalación química en E.U.A.

1992. Debido a la explosión que se desató en la ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. El presidente Salinas de Gortari, en la reunión de PREVENCIÓN DE DESASTRE, verificada el 29 de abril, giro instrucciones precisas a la SEDESOL para iniciar las auditorías ecológicas de las empresas potenciales más riesgosas, incluyendo los ANALISIS DE RIESGOS DE SUS PROCESOS.

1992. SEDESOL el 4 de mayo, emite el SEGUNDO LISTADO de ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS. Se introducen además los conceptos de: auditorías ecológicas, estudios de impacto ambiental y estudios de riesgo modalidad "Análisis de Riesgo"

1993. ANIQ, México, en foro anual presidido por Salinas de Gortari, adopta el código de prácticas de RESPONSABILIDAD INTEGRAL, el cual está actualmente en desarrollo y será condición de su observancia, para ser miembro de la asociación.

En la tabla 1 se presenta un listado de algunos accidentes catastróficos ocurridos en la industria.

**TABLA 1. HISTORIAL DE ACCIDENTES IMPORTANTES EN LA INDUSTRIA<sup>(2)</sup>.**

LUGAR	AÑO	PRODUCTO	MUERTE O DAÑO
FLIXBORROUG, INGLATERRA	1974	HEXANO	28 MUERTES
SEVESO, ITALIA	1976	DIOXINA	A SER DETERMINADA
SAN CARLOS, ESPAÑA	1978	PROPILENO	216 MUERTES
THREE MILES E.U.A.	1979	NUCLEAR	A SER DETERMINADA
NOVOSIBIRK RUSIA	1979	QUIMICO	300 MUERTES
MISSISSAUGA, CANADA	1979	CLORO, LPG	A SER DETERMINADA
SAN JUANICO, MEXICO	1984	LPG	500 MUERTES



TABLA 1 CONTINUACIÓN.

LUGAR	AÑO	PRODUCTO	MUERTE O DAÑO
BHOPAL (INDIA)	1984	ISOCIANATO DE METILO	3200 MUERTES
BASLE (SUIZA)	1984	INSECTICIDA	POLUCION EN RIO
CHERNOLBIL (RUSIA)	1986	NUCLEAR	31 MUERTES
PIPER ALFA (MAR NORTE)	1988	PLATAFORMA DE EXTRACCION DE CRUDO	167 MUERTES
GAS PIPE TRAINS (RUSIA)	1989	GAS NATURAL	571 MUERTES
PASADENA (E.U.A.)	1989	ETILENO	23 MUERTES
CHANNEL VIW (E.U.A.)	1990	QUIMICO	17 MUERTES
EXXON VALDEZ (ALASKA)	1990	ACEITE CRUDO	IMPACTO ECOLOGICO

## 1.2. RIESGO<sup>(2)</sup>.

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.

Para poder decidir si un tipo de riesgo es aceptable, se requiere estimar su magnitud, por lo que se hace necesario realizar un análisis sistemático y lo más completo posible de todos los aspectos que implica para la población, el medio ambiente y los bienes materiales, la presencia de un determinado establecimiento, las sustancias que utiliza, los equipos, los procedimientos, etc. Esto es lo que se denomina Análisis de Riesgos. En el se trata de estimar el nivel de peligro potencial de una actividad industrial en términos de cuantificar la magnitud del daño y de la probabilidad de ocurrencia.

Los Análisis de Riesgos, por tanto, tratan de estudiar, evaluar, medir y prevenir las fallas y las averías de los sistemas técnicos y de los procedimientos operativos que pueden iniciar y desencadenar sucesos no deseados (accidentes) que afecten a las personas, medio ambiente y los bienes materiales.



Los métodos para la identificación, análisis y evaluación de riesgos son una herramienta muy valiosa para abordar con decisión su detección, causa y consecuencias que puedan acarrear, con la finalidad de eliminar o atenuar los propios riesgos así como limitar sus consecuencias, en el caso de no poder eliminarlos.

Los objetivos principales son:

- ⇒ Identificar y medir los riesgos que representa una instalación industrial para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales.
- ⇒ Deducir los posibles accidentes graves que pudieran producirse.
- ⇒ Determinar las consecuencias en el espacio y el tiempo de los accidentes, aplicando determinados criterios de vulnerabilidad.
- ⇒ Analizar las causas de dichos accidentes.
- ⇒ Discernir sobre la aceptabilidad o no de las propias instalaciones y operaciones realizadas en el establecimiento industrial.
- ⇒ Definir medidas y procedimientos de prevención y protección para evitar la ocurrencia y/o limitar las consecuencias de los accidentes.

### 1.2.1. ASPECTOS A TRATAR EN LOS ANÁLISIS DE RIESGOS.

Los aspectos de un análisis sistemático de los riesgos que implica un determinado establecimiento industrial, desde el punto de vista de la prevención de accidentes, están íntimamente relacionados con los objetivos que se persiguen. Estos son los siguientes:

- ⇒ Identificación de sucesos no deseados, que pueden conducir a la materialización de un peligro.
- ⇒ Análisis de las causas por las que estos sucesos tienen lugar.
- ⇒ Valoración de las consecuencias y de la frecuencia con que estos sucesos pueden producirse.

### 1.2.2. ACCIDENTES<sup>(2)</sup>.

Por accidente entendemos cualquier acontecimiento que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema. El progresivo incremento de la producción industrial y la peligrosidad de algunas materias y ciertos procesos que se utilizan en la misma, así como de los productos obtenidos, constituyen en ocasiones, un riesgo potencial de emergencia en el interior de las instalaciones industriales y en su entorno.



Esta situación se agrava en ciertos casos por la diversificación de las actividades industriales, por su dispersión en el territorio, en algunos casos y por su concentración, en otros, de varios establecimientos destinados a diferentes fines, en los que, en caso de accidente, se pueden introducir efectos sinérgicos capaces de agravar los daños a las personas, al medio ambiente y a los bienes radicados en las instalaciones industriales y en su entorno urbano.

### **1.2.3. PELIGRO.**

La evaluación de un peligro es un enfoque sistemático y organizado (incluyendo documentación) para identificar peligros de tal manera que las medidas de control puedan ser desarrollados para minimizar la frecuencia de incidentes o disminuir las consecuencias en el caso de un incidente. La evaluación de peligro es una de las más poderosas herramientas disponibles para implementar un programa efectivo de prevención de pérdidas.

#### **1.2.3.1. CUÁNDO CONDUCIR A UNA REVISIÓN DE PELIGRO.**

Las evaluaciones de peligros deben ser realizadas durante todo el ciclo de la vida de un proyecto, por ejemplo durante las etapas de concepción, diseño y operación, o cuando se realizan modificaciones o cambios en el proceso e incluso durante el desmantelamiento de las instalaciones.

**Concepción del proyecto.** En la primera etapa, que es por lo general una exploración de la posible dirección se deben considerar en una forma general los puntos peligrosos del proceso para descartar en las propuestas inaceptables.

**Diseño.** La etapa de diseño es la más simple y efectiva para conducir la evaluación de peligros. Los detalles disponibles en esta fase permiten una buena revisión. El principal beneficio de revisar en esta etapa es que una falla en el diseño puede ser corregida sobre papel con mucho menos gastos que haciendo la misma corrección una vez iniciada la construcción.

**Operación.** Se debe conducir una evaluación de peligros en todas las operaciones que nunca han estado sujetas a esta revisión. Adicionalmente, es necesario conducir revisiones sobre operaciones existentes en una base periódica (dependiendo del grado de peligro asociado con el proceso dado). La experiencia y el conocimiento ganado con el tiempo ayudarán a descubrir peligros que pueden no haber sido detectados antes.

La tabla 2 muestra una sugerencia de frecuencias de revisión para peligros relativos.



TABLA 2. SUGERENCIAS DE FRECUENCIAS PARA LA REVISIÓN DE PELIGROS.

GRADO DEL PELIGRO	EJEMPLOS	FRECUENCIA DE RECOMENDACIÓN
ALTA	Producción o manejo de materiales inestable o explosivos. Operaciones donde reacciones descontroladas pueden causar la ruptura de equipo. Manejo de material tóxico con el potencial de exceder de inmediato los límites para la vida dentro y fuera del lugar.	<2 años
MODERADA	Producción o manejo de materiales tóxicos o inflamables en cantidades suficientes que un incidente pueda tener un impacto significativo en el lugar pero un impacto limitado fuera del lugar.	< 3 años
BAJA	Producción o manejo de combustible o materiales de baja toxicidad. Operaciones con un potencial ligero de incendio, explosión o escape de químicos.	< 4 años

**Cambios en el proceso.** Se debe conducir una revisión en todos los cambios de proceso que puedan incrementar la probabilidad o severidad de un accidente. Los cambios en el proceso incluyen cualquier cambio que modifique las condiciones de operación (temperaturas, presiones, flujos, concentraciones) o de capacidad, así como cambios en instrucciones de operación, equipo (incluyendo recipientes, tubería y válvulas), instrumentación, esquemas de control, materias primas, catalizadores, mantenimiento, instalaciones, etc.



### 1.2.3.2. PREPARÁNDOSE PARA UNA REVISIÓN DE PELIGROS.

El primer paso al prepararse para una revisión es escoger el equipo que revisa y el líder. El líder frecuentemente selecciona al equipo. Si la efectividad de la revisión depende de las habilidades, conocimiento y esfuerzos del equipo, es importante seleccionar a miembros que tengan experiencia laboral en los aspectos de la operación.

Un equipo revisor usualmente consta de 5 a 7 miembros. Equipos más grandes pueden ocasionar que el líder tenga dificultades. Sin embargo, algunos procesos requieren de una amplia variedad de expertos. Equipos grandes significan que cada miembro juega un papel menos importante, equipos más chicos pueden sufrir por la ausencia de conocimiento y habilidades. Algunos procesos, sin embargo, son tan pequeños y simples que un equipo de 2 o 3 miembros pueden revisarlos efectivamente.

El típico equipo de evaluación de peligros incluye las siguientes áreas de especialización:

- ⇒ Seguridad y prevención de pérdidas.
- ⇒ Investigación y desarrollo.
- ⇒ Producción.
- ⇒ Mantenimiento.
- ⇒ Ingenieros de proyecto y proceso.
- ⇒ Especialistas como se requieran.

Notificación del equipo. Los miembros del equipo deben ser notificados por escrito por lo menos una semana antes de la revisión. Una descripción del proceso, un diagrama esquemático y una lista tentativa de aspectos relevantes debe ser incluida en la notificación.

**Material de referencia.** El líder del equipo debe asegurarse que haya material de referencia disponible para la revisión.

El material de referencia debe incluir:

- ⇒ Diagramas de tubería e instrumentación actualizados (DTI's).
- ⇒ Hojas de datos de seguridad.
- ⇒ Propiedades físico-químicas de las sustancias que se manejan.
- ⇒ Datos cinéticos de reacción.
- ⇒ Plano de localización general de equipos de la planta.
- ⇒ Especificaciones de diseño.
- ⇒ Procedimientos de operación.



- ⇒ Procedimientos de emergencia.
- ⇒ Reportes de incidentes.
- ⇒ Estándar de prevención de pérdidas.
- ⇒ Manuales de operación.

**Sala de reunión.** La sala de reunión debe ser lo suficientemente grande para albergar confortablemente a todo el equipo. Debe haber suficiente espacio en la mesa y cada miembro debe ser visto totalmente por el líder. Debe haber suficientes juegos de información para que cada miembro tenga el suyo. Además debe haber un juego de DTI's al frente de la sala para que el líder pueda dirigir la atención de los miembros del equipo hacia un punto específico.

#### **1.2.3.3. EMPEZANDO UNA REVISIÓN DE PELIGROS.**

**Seleccionando a un secretario.** Al inicio de la reunión el líder del equipo debe seleccionar un secretario. El secretario debe registrar el progreso de la reunión con claridad, notas concisas. Esto incluye registro de asistencia, todos los puntos estudiados, comentarios, asuntos, recomendaciones y asignaciones. El secretario distribuirá el reporte de los hallazgos de la revisión.

El secretario debe ser un miembro participativo del equipo o al menos alguien con el conocimiento técnico del proceso para que la documentación sea expresada de una manera significativa. No es muy eficiente que el líder sea el secretario porque la continuidad de la reunión puede ser rota con las pausas del líder al hacer anotaciones.

**Presentación del equipo.** Cada miembro del equipo debe presentarse al grupo a menos que todos estén familiarizados unos con otros.

La presentación debe incluir su nombre, experiencia (especialidad), y cualquier función particular o responsabilidad que ellos tendrán en el proyecto.

**Descripción del proceso.** El líder o un miembro del equipo familiarizado con la operación deberá dar una descripción global del proceso. Los miembros del equipo deben ser animados para hacer preguntas generales, pero preguntas más profundas deben ser reservadas hasta que esa área particular este siendo tratada.

#### **1.2.3.4. RESPONSABILIDADES DEL LÍDER DEL PROYECTO.**

**Selección del equipo.** Como se mencionó anteriormente, es responsabilidad del líder el seleccionar el equipo revisor. Este no siempre es el caso, sin embargo, como algunas áreas ya tienen su equipo revisor, otras veces, se llamará a un externo para unirse al grupo.



**Preparación para la revisión.** El líder, o el designado, debe de checar que todas las preparaciones han sido completadas antes de iniciar la reunión.

Puede ser una pérdida de tiempo, el tener un equipo de revisión esperando mientras algunos detalles se terminan de último momento.

**Selección del método.** Usualmente el líder tiene la responsabilidad de determinar el método de evaluación de peligro que se va a utilizar. Como todos los métodos tiene sus propias fuerzas y debilidades, el líder debe estar familiarizado con los diferentes tipos y entender las metas de la revisión para escoger el método que beneficiará más.

**Conduciendo la revisión.** Una revisión efectiva depende de la habilidad del líder para hacer que el grupo trabaje junto. El líder no necesariamente tiene que ser un experto en el proceso pero debe apoyarse en el conocimiento colectivo del equipo.

Como todos los miembros son importantes, deben ser invitados a contribuir. El líder del equipo debe aclarar que no se deben hacer preguntas sin sentido.

Para asegurarse de la participación total, la atención de todos los miembros deben estar concentrada en la hoja de trabajo. Se debe desanimar políticamente cualquier conversación aparte y no permitir que una o dos personas estén dominando la discusión. Cuando el mantener la atención de los miembros se vuelve difícil, es tiempo para un descanso.

Como las revisiones son mentalmente desgastantes, la productividad tiende a descender con el tiempo. Si es posible, las revisiones se limitarán a 4 horas por día.

El líder debe mantener la revisión de una manera sistemática. El saltar de un tema a otro puede añadir confusión a la reunión causando que no se consideren puntos importantes. Aunque la revisión debe ser minuciosa, con cuidado no debe extenderse mucho en un punto. Hay que recordar que la meta de la revisión es identificar peligros.

Si la solución a un peligro identificado no es inmediatamente obvia, la acción correcta es asignar el punto a un miembro adecuado o al equipo de diseño para su seguimiento.

**Seguimiento.** El líder es responsable de editar el reporte o delegar esta responsabilidad. El reporte debe incluir la fecha de la revisión, el proceso o proyecto revisado, el alcance de la revisión, una lista de los participantes, y el registro del secretario de los procedimientos. El reporte debe dirigirse al gerente del proyecto o al gerente de la planta y la distribución debe incluir a todos los miembros del equipo revisor. El requerimiento posterior de distribución variará dependiendo del caso.

En la tabla 3 se muestran los principales métodos utilizados en la identificación de riesgos.





TABLA 3. PRINCIPALES MÉTODOS UTILIZADOS EN LA IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.

MÉTODOS COMPARATIVOS	ÍNDICES DE RIESGOS	MÉTODOS GENERALIZADOS
<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Códigos.</li><li>⇒ Lista de Comprobación (Checklists).</li><li>⇒ Análisis Históricos de Accidentes.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Índice Dow.</li><li>⇒ Índices Mond.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Análisis de peligros y Operabilidad (HAZOP).</li><li>⇒ Análisis de Modo de Falla y Análisis de Efectos (FMEA).</li><li>⇒ Análisis de Árbol de Fallas (FTA)</li><li>⇒ Análisis What If... ?/ ¿Qué pasa si... ?</li></ul>



### 1.3. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE PELIGROS.

Para realizar una buena identificación y evaluación de peligros se sugiere utilizar las siguientes técnicas o una combinación de ellas.

#### 1.3.1. ¿QUÉ PASA SÍ?/ LISTA DE VERIFICACIÓN (WHAT IF/CHECKLIST).

La combinación de las técnicas ¿qué pasa sí?/lista de verificación, representa una herramienta eficiente para la identificación de los más obvios peligros en el proceso. La lista de verificación es derivada de la experiencia basada en operaciones similares y sugiere áreas o puntos de interés. El equipo de revisión investiga estas áreas para determinar si algún peligro existe. ¿Qué pasa sí?/lista de verificación, puede ser suficiente para un simple y bien conocido proceso y puede producir una buena visión para sistemas más grandes, pero para procesos más complicados o peligrosos un procedimiento más detallado se deberá emplear para la evaluación de peligros. ¿Qué pasa sí?/lista de verificación, usualmente es más efectiva cuando es usado con algún otro método.

#### 1.3.2. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP).

El HAZOP es un enfoque metódico de identificación de peligros asociados con el proceso y además descubrirá aspectos sobre facilidad y eficiencia de la operación. El equipo revisor sistemáticamente revisa un proceso escogiendo un "nodo de estudio" y considerando desviaciones en los parámetros del proceso en este punto. El método HAZOP puede consumir tiempo pero es minucioso y produce buenos resultados.

#### 1.3.3. MODO DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS (FMEA).

El modo de falla y análisis de efectos es una tabulación de los equipos de proceso, los modos de falla de cada componente de los equipos y los efectos del modo de falla en el proceso. El modo de falla es una descripción de cómo un punto específico puede fallar (abierto, cerrado, prendido, apagado, fuga, etc.) y el efecto es la respuesta del sistema a la falla.

El FMEA es efectivo identificando modos de fallas simples para una parte del equipo, identifica las combinaciones de las fallas que contribuyen colectivamente a un incidente. El FMEA es útil cuando se usa con otros métodos de evaluación de peligros (especialmente HAZOP y el FTA) gracias a la fuerza al analizar fallas de equipos.



#### 1.3.4. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA).

El FTA es una técnica deductiva que se enfoca a un evento no deseado (TOP EVENT) y determina todas las causas que puede llevar a ese evento. El FTA es útil al considerar combinaciones de fallas (incluyendo errores humanos) que pueden contribuir a un incidente. El FTA es una representación gráfica de combinaciones de fallas y otros eventos que finalmente puedan conducir al evento tope (TOP EVENT). El FTA, por naturaleza, presenta a la cuantificación de las fallas siempre y cuando se dispongan de frecuencias de todas las fallas y otras causas y que sean confiables. Las limitaciones del FTA recaen en el considerable tiempo, esfuerzo y habilidad necesaria aun para análisis sencillos (especialmente cuando se desean resultados cuantitativos).

En la tabla 4 se pueden observar todos los métodos mencionados anteriormente de una manera resumida.

En este trabajo se emplean para la identificación y evaluación de peligros, la técnica HAZOP, la técnica Árbol de Fallas, además de la metodología de Análisis de Consecuencias para la evaluación del escenario de accidente seleccionado.



TABLA 4. MÉTODOS Y OBSERVACIONES.

MÉTODO	OBSERVACIONES
LISTA DE VERIFICACIÓN	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Comparación de procesos con la experiencia de la compañía, códigos, estándares y normas.</li><li>⇒ Identificar peligros obvios en el menor tiempo para grandes áreas.</li></ul>
¿QUÉ PASA SÍ?	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Limitada estructura y profundidad.</li><li>⇒ Análisis cualitativo para peligros obvios del sistema.</li></ul>
FMEA	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Falla de componentes ——— Consecuencias.</li><li>⇒ Análisis tabulado de cada componente.</li><li>⇒ Grado aproximado de peligros, probabilidad y gravedad.</li><li>⇒ Consideración limitada de fallas humanas, componentes faltantes y pérdida de contención.</li></ul>
HAZOP	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Fallas ——— Desviación ——— Consecuencias.</li><li>⇒ Enfoque con palabras guía tabuladas.</li><li>⇒ Discusiones no cuantitativas.</li></ul>
FTA	<ul style="list-style-type: none"><li>⇒ Consecuencia ——— Fallas de componentes.</li><li>⇒ Modelo lógico.</li><li>⇒ Análisis de riesgo cualitativo o cuantitativo.</li><li>⇒ Ayuda para toma de decisiones.</li><li>⇒ Análisis de fallas humanas, modos de fallas comunes y múltiples.</li></ul>



## **1.4. PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN DE PELIGROS.**

### **1.4.1. ¿QUÉ PASA SÍ?/LISTA DE VERIFICACIÓN.**

#### **1.4.1.1. CONCEPTO.**

El concepto del análisis ¿qué pasa sí?/lista de verificación es conducir un examen sistemático profundo de un proceso por medio de la pregunta "¿qué pasa sí...?". A menudo la lista de verificación sugerirá posibles áreas de interés. El uso más efectivo de la lista de verificación es primero tener una lluvia de ideas con las preguntas de ¿que pasa sí...? y luego recurrir a la lista de verificación para ver si se olvidó algún punto de interés.

La lista verificación debe ser preparada por personal con experiencia que este familiarizado con el proceso y con los procedimientos estándares de la compañía. La lista de verificación debe ser especialmente diseñada para cada proceso para que sea más útil.

Comúnmente el sistema es analizado desde el principio al final, empezar con las materias primas hasta la entrega al consumidor y la disposición final de los residuos. El cuestionamiento puede ser centrado en una categoría de consecuencias en particular como la seguridad del personal, la seguridad pública, etc. Los hallazgos son usualmente secuencias de eventos de incidentes que resultan de las preguntas "¿qué pasa sí...?". Las preguntas sugieren esencialmente la iniciación de un evento o falla desde la cual una secuencia de eventos indeseados pueda ocurrir.

Por ejemplo una pregunta puede ser:

"¿Qué pasa sí las materias primas están contaminadas?"

El equipo revisor puede determinar como esto afectar al sistema.

Por ejemplo la respuesta puede ser:

"Algunas impurezas pueden catalizar la reacción y puede resultar en una reacción exotérmica descontrolada".

La recomendación puede ser, el incluir un análisis de laboratorio para las impurezas peligrosas además de los otros análisis hechos antes de aceptar el material. O la recomendación puede ser simplemente el asignar el punto al departamento apropiado para su solución.

#### **1.4.1.2. PROCEDIMIENTO DEL ¿QUÉ PASA SÍ?/ LISTA DE VERIFICACIÓN.**

Los pasos para el análisis ¿qué pasa sí...?/lista de verificación son:

- ⇒ Definir los límites del estudio.
- ⇒ Preparar la lista de verificación.
- ⇒ Conducir la revisión.
- ⇒ Registrar los resultados.



## 1.4.2. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

### 1.4.2.1. CONCEPTO.

El HAZOP (*Análisis de Peligros y Operabilidad*) es una técnica de identificación de peligros inductiva basada en la premisa de que los peligros, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. Por tanto, ya sea que se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación, la técnica consiste en evaluar, en todas las líneas y en todos los sistemas las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, tanto si es continuo como discontinuo. La técnica consiste entonces en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de "palabras guía".

El método surgió en 1963 en la compañía Imperial Chemical Industries, ICI, que utilizaba técnicas de análisis crítico en otras áreas. Posteriormente, se generalizó y formalizó, y actualmente es una de las herramientas más utilizadas internacionalmente en la identificación de peligros en una instalación industrial.

Durante los últimos cincuenta años la industria química ha experimentado cambios de gran importancia. A medida que los avances tecnológicos han dado origen a la aparición de nuevos materiales, procesos e incluso nuevas industrias, se ha asistido a un aumento casi exponencial en el número y aplicaciones de los productos químicos disponibles en el mercado.

Paso por paso línea por línea, el concepto del HAZOP involucra una investigación sistemática y documentada de cómo un proceso continuo o discontinuo de una planta puede desviarse de los objetivos de su diseño y provocar una situación de peligro para la planta.

Este estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP) lo lleva a cabo un equipo multidisciplinario formado por personal de ingeniería, mantenimiento, instrumentación, proceso y seguridad mediante la técnica de tormenta de ideas, se analiza línea por línea o paso por paso, en los procesos continuos o las actividades de un proceso batch o discontinuo las posibles desviaciones tomando en cuenta:

- a. La intención del diseño de la línea o equipo seleccionado.
- b. El empleo de palabras guías que ayudan a descubrir cuales desviaciones del diseño pueden constituir un riesgo importante.
- c. El grupo se enfoca a analizar puntos específicos del diseño llamados nodos de estudio.



En un proceso continuo los nodos de estudio pueden ser los equipos con sus líneas de proceso y en un proceso discontinuo o batch son las distintas operaciones indicadas en el procedimiento de operación.

#### 1.4.2.2. INTRODUCCIÓN AL HAZOP.

La identificación de los peligros o riesgos del proceso y el examen de las formas de reducirlos o eliminarlos antes de que puedan afectar al personal, instalaciones y al medio ambiente, son las metas de seguridad de esta metodología.

El estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP) se seleccionó como la metodología adecuada para el estudio de Análisis de Riesgos en una Unidad de Tratamiento de Gas de Cola.

Esta metodología es apropiada para este tipo de sistema, y es aceptada ampliamente en la industria, ya que satisface los requerimientos del (ARP: Análisis de Riesgos de Proceso).

Las palabras guía utilizadas en esta metodología incluyen las siguientes: más/alto, menos/bajo, ninguno, también como, parte de, otro que, inverso. Los parámetros del proceso examinados incluyeron flujo, temperatura, presión, nivel y composición.

En la práctica recomendada 75 del API y en los lineamientos del CCPS (Center for Chemical Process Safety) se incluyen varias técnicas del ARP. La metodología de HAZOP se considera como la técnica apropiada para este proyecto debido a que garantiza un examen riguroso de los riesgos del proceso dentro del sistema construido, además de que identifica claramente los problemas potenciales de tipo operacional que pueden convertirse en "eventos graves".

El estudio de Peligros y Operabilidad (HAZOP) es un método disciplinado que proporciona a un grupo de ARP los medios para visualizar los móviles por los cuales el proceso puede fallar, tener un mal funcionamiento u operación incorrecta.

Dentro del HAZOP, el proceso sujeto a investigación es "cuestionado" sistemáticamente para determinar las consecuencias de las desviaciones del diseño original, o de la operación normal del proceso.

La premisa de la técnica de HAZOP consiste en que puede existir un problema si el proceso se desvía de sus parámetros de diseño.

La base de la investigación del HAZOP es la desviación, que puede ocurrir sólo si el parámetro del proceso que se está estudiando se encuentra fuera del rango deseado.

Las "palabras guía" se combinan con el parámetro del proceso para obtener una desviación hipotética del propósito del diseño, siendo dichas "palabras guía" las herramientas utilizadas para dirigir sistemáticamente el HAZOP.



El primer paso en el estudio del HAZOP es seleccionar los puntos donde se examinarán las desviaciones del proceso, llamados "nodos". El grupo multidisciplinario, revisa los DTI's para seleccionar los nodos que se consideraron.

Todos nodos están numerados con el propósito de llevar los registros necesarios. El número correspondiente de nodo involucrado aparece en el encabezado de cada hoja de trabajo de HAZOP. El primer concepto que se obtiene en todos los casos al examinar una desviación en especial es la "consecuencia" potencial para ese nodo. Si no existe ninguna consecuencia, o sólo se obtiene una insignificante, generalmente dicha desviación no se discute a fondo. Esto permite al grupo concentrarse en las desviaciones que pueden causar condiciones inseguras o problemas de operación. Cuando surge una desviación que puede causar condiciones de este tipo, se discuten y registran las posibles causas y consecuencias en las respectivas columnas.

La técnica HAZOP incluye la documentación de las consecuencias razonables en el peor de los casos para una desviación, sin considerar las precauciones existentes. Esto permite al grupo multidisciplinario examinar las consecuencias asociadas con fallas de controles de ingeniería y administración para estas unidades.

Una vez que se evalúan y documentan las consecuencias, el grupo se enfoca en la identificación de las MEDIDAS DE SEGURIDAD O PROTECCIONES existentes para la desviación. Si éstas no existieran el grupo emitiría RECOMENDACIONES para mejorar la seguridad de la operación.

Si las MEDIDAS DE SEGURIDAD de cada sistema, como instrumentación, alarmas y paros, válvulas de alivio o acciones del operador pudieran ayudar a mitigar la situación, la respuesta esperada del sistema se incluye en la columna de MEDIDAS DE SEGURIDAD O PROTECCIONES, en las hoja de trabajo de HAZOP.

Si después del análisis se decide que es necesario un cambio para mejorar la seguridad u operabilidad, dichas sugerencias se anotan en la columna de RECOMENDACIONES.

#### **1.4.2.3. INTERPRETACIÓN DE LAS HOJAS DE TRABAJO HAZOP.**

Los siguientes puntos aplican al leer las hojas de trabajo:

- ⇒ Para cada nodo, en la primera columna se listan los diversos rubros o variables que pueden sufrir una desviación.
- ⇒ La siguiente columna indica la causa o causas que pueden originar la desviación.
- ⇒ La tercera columna indica los resultados que se pueden obtener como consecuencia de esta desviación.



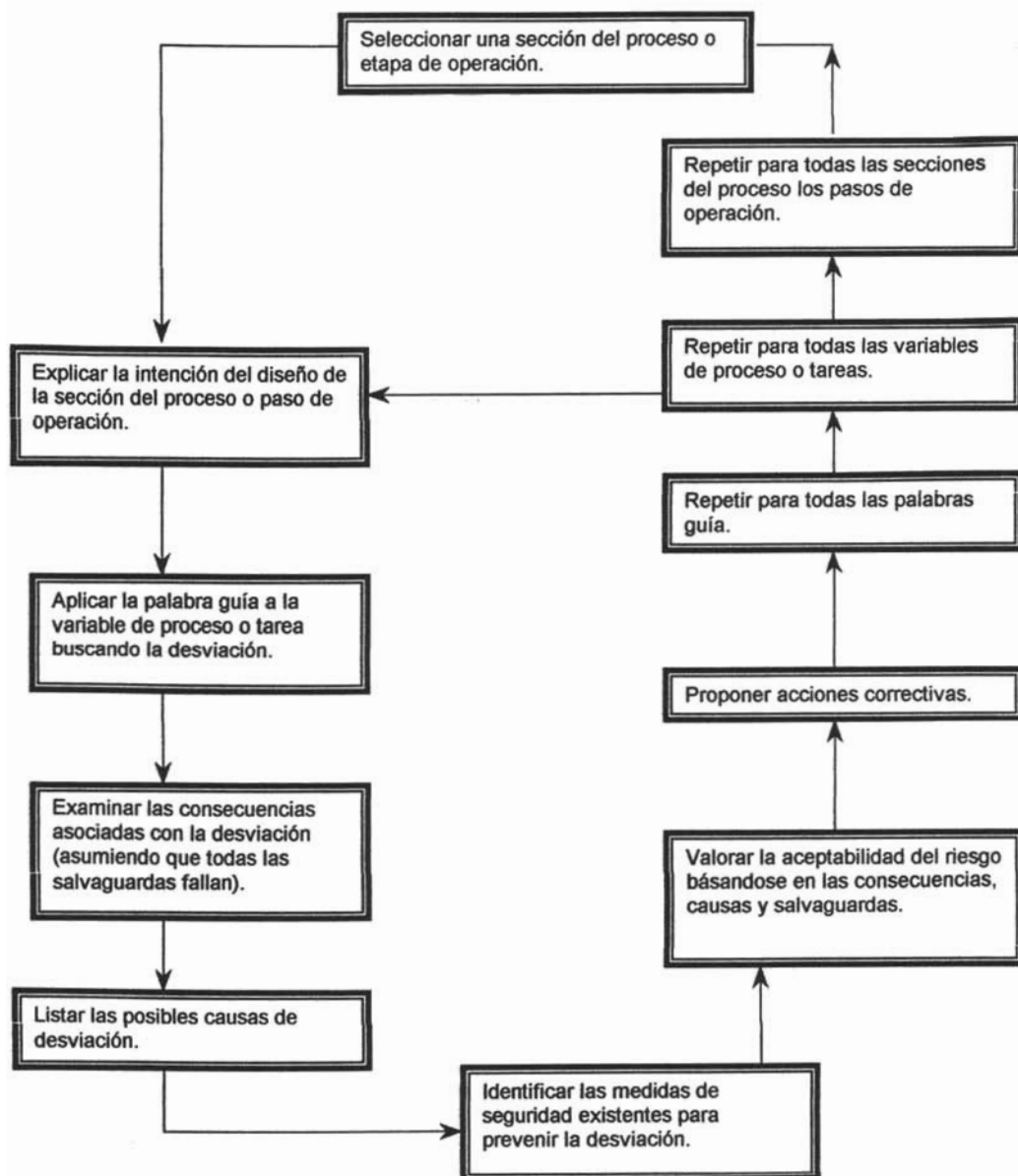


- ⇒ Posteriormente se tienen dos columnas en donde se reporta la gravedad, la frecuencia y riesgo con la que se lleva a cabo dicha desviación. (Se tiene dos veces la gravedad, frecuencia y riesgo, ya que la primera se toma sin protecciones y la segunda con protecciones).
- ⇒ En la columna siguiente se indican las medidas de seguridad o protecciones que existen en el sistema para evitar al máximo posible que ocurra la desviación.
- ⇒ De nuevo se encuentran las columnas de gravedad y frecuencia, en éstas la gravedad y frecuencia disminuirán ya que se toman en cuenta las protecciones.
- ⇒ En la columna de recomendaciones se indica que se debe de tomar en cuenta para dar soporte a esas precauciones y en caso necesario, corregir los manuales o procedimientos para incluirlas en ellos.
- ⇒ En la última columna se muestra la clase a la que pertenece la recomendación.

Para llevar a cabo un análisis de riesgo a través de la aplicación de la metodología HAZOP se requieren reuniones de especialistas multidisciplinarios, llevándose normalmente de acuerdo al protocolo propuesto en la figura 1.



FIGURA 1. PROTOCOLO DE LA REUNIÓN DE ANÁLISIS DE HAZOP.





Es preciso garantizar un registro sistemático de los resultados del análisis HAZOP, lo que habitualmente se realiza en el formato tradicional en columnas como se muestra en el ejemplo de la figura 2.

FIGURA 2. HOJAS DE REGISTRO DE SESIONES HAZOP.

	COMPañIA:	ÁREA / PROCESO:			FECHA:		
	Nodo:						
	Diagramas:				Producto:		
Desviación:							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase

#### 1.4.2.4. 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 5 y 6 para determinar en orden jerárquico, las recomendaciones y definir el índice de riesgo del evento con la ayuda de la matriz de riesgos.

TABLA 5. NIVELES DE FRECUENCIA.

NIVEL	FRECUENCIA
1	Ocurre más de una vez al año
2	Ha ocurrido o puede ocurrir varias veces durante la vida de la planta
3	Se espera que ocurra no más de una vez en la vida de la planta
4	No se espera que ocurra en la vida de la planta



TABLA 6. NIVELES DE GRAVEDAD.

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

#### 1.4.2.5. MATRIZ DE RIESGOS.

Durante la aplicación de la metodología de HAZOP, será necesario implementar o construir una matriz de riesgos. El índice o número de riesgos nos 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 implementadas deberá usar una matriz de índice de riesgo que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad o gravedad de las consecuencias del mismo. Son variables las matrices de riesgos que podemos encontrar en la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgo. La matriz utilizada en este proyecto se muestra en la figura 3.

Por otra parte, las recomendaciones se clasifican de acuerdo al nivel de riesgo encontrado y basado en la matriz de riesgo. Estas se clasifican de la siguiente manera:

*A: Inaceptable.*

*B: Indeseable.*

*C: Aceptable con controles.*

*D: Aceptable como está.*



**CLASE A.** Las recomendaciones de la clase **A** son las que tienen la más alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente o su consecuencia. De acuerdo con la matriz de riesgos, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 8 a 10.

**CLASE B.** Las recomendaciones de la clase **B** son las que tienen prioridad media. Esto quiere decir que la administración debe evaluarlas mediante un análisis de costo-beneficio y el fundamento de la recomendación dada para reducir el riesgo, para que basado en esto se tome la decisión de "aceptar o no el riesgo". De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 4 a 7.

**CLASE C.** Las recomendaciones de la clase **C** son las que tienen la más baja prioridad. Esto significa que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad pero que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 1 a 3.

**CLASE D.** Las recomendaciones de la clase **D** tienen baja prioridad. Esto significa que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad pero que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente.

FIGURA 3. MATRIZ DE RIESGOS.

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

Nota: Esta matriz de riesgos, se toma de normas internas de PEMEX.

Los parámetros de clasificación de la matriz se fijan por el equipo de trabajo con el propósito de identificar los peligros.



#### **1.4.2.6. METODOLOGÍA DEL HAZOP.**

El análisis HAZOP puede aplicarse a una planta en funcionamiento o bien a una planta en su etapa de diseño.

**Los requerimientos de información para poder aplicar la técnica son:**

1. Diagramas de flujos y de instrumentación completos.
2. Información detallada de los riesgos de materia prima, productos intermedios y terminados.
3. Manuales de operación.

#### **1.4.2.7. TÉCNICA DEL HAZOP.**

- ⇒ Seleccione una línea u recipiente.
- ⇒ Explique la intención del diseño de la línea o recipiente.
- ⇒ Aplique las palabras guías.
- ⇒ Identifique posibles desviaciones que pueden tener consecuencias importantes.
- ⇒ Identifique sus posibles causas.
- ⇒ Identifique sus posibles consecuencias.
- ⇒ Evalúe soluciones/medidas correctivas.
- ⇒ Tome decisiones.
- ⇒ Compruebe al cabo de un lapso de tiempo la correcta implantación de las medidas.

### **1.4.3. MODO DE FALLA Y ANÁLISIS DE EFECTOS (FMEA)**

#### **1.4.3.1. CONCEPTO.**

El método de modo de falla y análisis de efecto estudia el equipo, las maneras en que este puede fallar, los efectos de la falla y la probabilidad de falla. El FMEA asume que el sistema no tiene riesgos excepto los asociados con las fallas de equipo. Cada falla se considera independiente y no tiene relación con otras fallas en el sistema excepto para aquellos efectos subsecuentes que puede producir.

En términos generales, el FMEA se conduce inicialmente sobre bases cualitativas. Cualquier cuantificación deseada puede realizarse posteriormente.



Aplicando los datos de falla se revelarán los puntos más críticos para llevar los cambios necesarios para *mejorar la probabilidad que el equipo funcione como se diseñó*.

#### **1.4.3.2. PROCEDIMIENTO DEL FMEA.**

Los pasos en el FMEA son:

- Definir el propósito, objetivos y alcances.
- Definir el problema y condiciones límite.
- Completar la tabla del FMEA.

#### **1.4.3.3. DEFINICIÓN DEL PROPÓSITO, OBJETIVOS Y ALCANCE DEL ESTUDIO.**

El objetivo del estudio determina el grado de detalle necesario en las tablas de FMEA. Para mantener las tablas del FMEA en un nivel manejable, los procesos grandes comúnmente se descomponen en sistemas más pequeños (ej. Sistema de alimentación, sistema de mezclado, sistema de oxidación, sistema de separación de producto). Primero, las fallas solo se consideran en la forma como afectan al sistema. Después, si se requiere un estudio más general, se puede determinar el efecto en la planta global, considerando como la respuesta del sistema a una falla particular puede afectar los otros sistemas.

#### **1.4.3.4. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA Y CONDICIONES LÍMITE.**

La definición del problema y las condiciones límite establecen específicamente que sistema y equipo deben ser incluido en el FMEA y como estos sistemas interactúan con su alrededor. Los requerimientos mínimos para las condiciones límite y la definición del problema incluyen:

- ⇒ Identificar el (los) sistema (s) a ser estudiado(s).
- ⇒ Establecer los límites físicos del sistema que encierran el equipo contenido en el FMEA. Especificar las interfases con otros procesos/ instalaciones/ sistemas de apoyo y que partes de estas interfases deben ser incluidas en el FMEA. Dibujar las divisiones del sistema en los diagramas de tubería e instrumentación y anotar las condiciones de operación.
- ⇒ Etiquetar todo el equipo con un único identificador para eliminar la confusión entre los diagramas de tubería e instrumentación y la tabla del FMEA.



- ⇒ Los números de equipo son comúnmente los que están en los diagramas de tubería e instrumentación y son suficientes.

#### 1.4.3.5. COMPLETAR LA TABLA DEL FMEA.

Metódicamente se debe completar la tabla de FMEA para reducir la posibilidad de omisiones. Empezar con un límite del sistema en el dibujo de referencia y sistemáticamente evaluar los equipos en el orden en que aparecen en el diagrama de flujo de proceso.

Las líneas generalmente están excluidas de este estudio a menos que posean un peligro especial (extremadamente tóxico, muy inflamable, pirofórico, corrosivo, alta presión, incremento repentino de presión, alta temperatura, choque térmico, vulnerable a impacto externo, rupturas frecuentes, reparaciones frecuentes, conexiones muy largas o muy flexibles).

Completar todas las entradas antes de pasar al siguiente equipo. Las entradas necesarias en una tabla de FMEA son:

- ⇒ **Equipo:** Es el número de equipo.
- ⇒ **Identificación:** Es el número de piezas del equipo.
- ⇒ **Descripción:** Es el tipo de equipo, configuración para la operación y otras características de servicio (ej. Alta temperatura, presión alta o corrosivo) que puede influenciar los modos de falla y sus efectos. La descripción no necesita ser única para cada parte del equipo.
- ⇒ **Modos de falla:** Se deben enlistar todas las desviaciones de funcionamiento concebible que se apliquen a cada pieza del equipo.  

Se debe evitar concentrar los esfuerzos en identificar las causas potenciales de falla excepto en los casos en los que puede ayudar a revelar más modos de falla. Se deben limitar las entradas en la tabla a modos de falla únicamente, aunque haya muchas causas para cada uno.
- ⇒ **Efectos:** Describir tanto el efecto inmediato como último de cada modo de falla con otro equipo y en el sistema. Anote los efectos mitigadores esperados debidos a los sistemas de seguridad existentes. Por ejemplo, el efecto inmediato de una fuga en el sello de una válvula es el derrame en el área de la bomba. Si el fluido es inflamable, es probable un incendio que podría involucrar equipo circundante. El sistema de contención y dilución de agua reduciría la extensión del incendio.
- ⇒ **Grado de frecuencia o criticidad:** Si se desea, se debe introducir la frecuencia estimada del modo de falla en particular o su grado de criticidad. Estos datos pueden introducirse después de la revisión.

Un ejemplo simple de una tabla de FMEA se presenta en la figura 4.







No podemos decir que la probabilidad de ocurrencia de un incidente de pérdida o accidente pueda reducirse en su totalidad. En cuanto haya una capacidad de pérdida existirá una probabilidad matemática de pérdida y los incidentes de pérdida ocurrirán con la frecuencia dictada por esta probabilidad.

Para que haya cero pérdidas, debe haber cero capacidad de pérdida y esto se traduce en cero capacidad de producción y utilidades. Prevención de pérdidas es realmente CONTROL, sin comprometer la producción y las utilidades<sup>(3)</sup>.

#### **1.4.4.2. OBJETIVOS DEL ÁRBOL DE FALLAS.**

La aplicación del árbol de fallas nos permite evaluar la probabilidad de pérdida y compararla con la magnitud de la pérdida, acciones que por tradición se han venido haciendo intuitivamente en la industria, sin la cuantificación de las probabilidades, de tal manera que difícilmente se toma una decisión con el pleno conocimiento de falla.

El propósito de esta técnica es identificar combinaciones de fallas de componentes que pueden provocar un accidente.

Su aplicación completa está en las fases de diseño y operación. El diseño puede usarse para descubrir modos de falla ocultos, resultantes de combinaciones de fallas de componentes individuales. En operación permite incluir características de procedimientos y fallas de operadores que combinadas pueden provocar un accidente.

Los resultados que se obtienen forman un listado de combinaciones de fallas que pueden repercutir en un accidente específico.

Estos resultados son de tipo cualitativo, con potencial cuantitativo. Los árboles de fallas pueden ser evaluados cuantitativamente si se dispone de datos de probabilidades de falla (árbol de eventos).

#### **1.4.4.3. CONCEPTO Y REPRESENTACIÓN GRÁFICA PARA EL ÁRBOL DE FALLAS.**

El análisis de árbol de fallas es una técnica deductiva enfocada en un accidente en particular o en la falla de un sistema importante, su función es determinar las causas del evento. El árbol de fallas es un método gráfico que muestra los errores de equipo y humanos que pueden ocurrir en la falla del sistema de interés. Este análisis calcula la frecuencia y/o probabilidad de ocurrencia de un suceso culminante, de aquí que sea una de las herramientas más útiles cuando se desea cuantificar riesgos.

Como método de análisis de riesgos es de los más estructurados, y puede aplicarse a un solo sistema o a sistemas interconectados.



La técnica supone que un suceso no deseado (un accidente o una desviación peligrosa de cualquier tipo) ya ha ocurrido, y busca las causas del mismo y la cadena de sucesos que puede hacer que tenga lugar.

El análisis de árbol de fallas descompone un accidente en sus elementos contribuyentes, ya sean estas fallas humanas o de equipos de planta, sucesos externos, etc. El resultado es una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar el suceso culminante que ocupa la cúspide del árbol de fallas.

Antes de empezar a construir el árbol de fallas es importante tener conocimiento profundo del funcionamiento del sistema. Para esto, el analista deberá recopilar y entender la información relacionada con este sistema.

A continuación se muestra la simbología del análisis de árbol de fallas.



TABLA 7. SIMBOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.





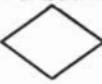



SIMBOLO	APLICACIÓN
	Evento de fallas: Una desviación no deseada del estado normal o esperado de un componente del sistema.
	Evento tope o máximo: El evento o incidente máximo (top event) no deseado del árbol de fallas que es trazado o analizado hacia abajo para encontrar fallas básicas usando conexiones lógicas para determinar sus causas y la probabilidad.
	Evento o suceso intermedio: Un evento que se propaga o mitiga, un evento inicial (básico) durante la secuencia del accidente (por ejemplo, una acción impropia del operador, una falla al parar una fuga de amoníaco, etc.) Este evento resulta de la interacción de otro suceso, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.
	Evento o suceso básico: Un evento de falla que es lo suficientemente básico que se considera no necesita mayor desarrollo (por ejemplo falla de un componente del equipo, falla humana o un evento externo). Estos constituyen la base de la raíz del árbol.
	Evento o suceso no desarrollado: Un evento base que no se desarrolla por que no se tiene información disponible o porque el analizador ha decidido dejar inconcluso porque no considera necesario un desarrollo más profundo.
	Compuerta, conector o enlace lógico (logic gate): Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida. Estas conexiones lógicas se representan generalmente por los conectores o enlaces "O".
	Compuerta, conector o enlace lógico (logic gate): Representa la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida. Estas conexiones lógicas se representan generalmente por los conectores o enlaces "Y".
	Compuerta o conector de inhibición: Representa la operación lógica que requiere la ocurrencia del suceso de entrada y la satisfacción de una condición de inhibición. La elipse de condición también es conocida como modificador, que debe estar presente para que la compuerta de inhibición pase la falla. Las condiciones deben ser pensadas como estados que ocurren en un período de tiempo mientras que el evento ocurre en un punto o momento del tiempo.



TABLA 7 CONTINUACIÓN.

	Condición externa o evento normal: Se utiliza para indicar una condición o suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas y que puede ocurrir o no.
	Transferencia: Se utiliza para continuar el desarrollo del árbol en otra parte por falta de espacio y existen dos tipos dentro y fuera. La transferencia dentro indica que el árbol de fallas se desarrollará posteriormente. La transferencia fuera indica que el árbol se continuará en otra página o en otra rama idéntica.

Las principales compuertas lógicas usadas son la "O" y la "Y" y estas compuertas conectan el evento principal a los eventos intermedios, los cuales a su vez se conectan con las causas básicas.

#### 1.4.4.4. TÉRMINOS USADOS PARA EL ÁRBOL DE FALLAS.

**Probabilidad:** Una medida de la ocurrencia esperada de un evento. Esta puede ser expresada como frecuencia relativa (como por ejemplo eventos/por año), la probabilidad de ocurrencia durante un intervalo de tiempo, o una condición de probabilidad (por ejemplo una probabilidad de ocurrencia dada de que un evento precursor ha ocurrido).

**Álgebra Boleana:** La rama de las matemáticas que describe el comportamiento de las funciones lineales de variables que son binarias por naturaleza, apagado o encendido, cerrado o abierto, verdadero o falso. Todos los árboles de fallas coherentes pueden ser convertidos en un juego equivalente de ecuaciones booleanas.

**Serie mínima reducida (minimal cut set):** La combinación más pequeña de componentes y fallas humanas, que si ocurren causarán la ocurrencia del evento tope o máximo. Todas las fallas corresponden a eventos básicos o no desarrollados.

#### 1.4.4.5. METODOLOGÍA DEL ÁRBOL DE FALLAS.

1. Identificar la falla del sistema "evento culminante" que va a ser analizado y ubicado en la parte alta del árbol.
2. Proceder al próximo nivel del sistema que llamaremos subsistema e identificar las fallas del subsistema que podrían conducir a la falla del sistema.



3. Determinar la relación lógica entre las fallas del subsistema que son requeridas para producir la falla del sistema. Puede ser el resultado de la combinación de fallas o la ocurrencia de cualquiera de las fallas identificadas.
4. Usar la estructura lógica de puertas "Y" u "O" para mostrar la relación de fallas del subsistema que producen la falla del sistema. La "Y" significa que las frecuencias relativas o probabilidades deben ser multiplicadas y las "O" significa que estas deben ser sumadas.
5. Proceder al próximo nivel más bajo del sistema y repetir los pasos del 2 al 4 hasta que se hayan identificado todas las fallas del nivel de componentes.
6. Iniciar con datos de frecuencia relativa o probabilidad de las fallas descritas en el nivel ubicado arriba del nivel de componentes usando las puertas "Y" u "O". Continuar la estructura lógica indicada por las puertas "Y" u "O" en el árbol de fallas hasta que la probabilidad de la falla del sistema o evento culminante ha sido calculada.

#### 1.4.4.6. VENTAJAS DEL ÁRBOL DE FALLAS.

El método de árbol de fallas tiene cinco ventajas mayores sobre otros métodos de análisis:

1. Dirige al analista de una forma deductiva a accidentes relacionados con el evento. El enfoque deductivo asume el sistema o subsistema mayor y examina eventos de orden menor para determinar cuales son todas las combinaciones que pudieran causar el evento máximo del daño especificado.
2. Permite una descripción de las funciones del sistema que guía a eventos indeseables. La descripción gráfica de las relaciones entre eventos que guían a un accidente mayor es un punto de interés para la gerencia o dirección de la empresa. Es fácil de leer y entender ya sea árboles grandes o pequeños. Si el sistema a analizar es grande y complejo, la descripción gráfica de las causas en el proceso del accidente puede proporcionar poca información. Sin embargo es de gran interés para la dirección de la empresa.
3. Proporciona una opción tanto cuantitativa como cualitativa. El análisis cuantitativo es usualmente deseable si se dispone de datos cuantitativos para los eventos finales del árbol. Sin embargo frecuentemente, los datos de seguridad no están disponibles o no son confiables. En tales casos, el análisis cualitativo proporcionará el juego o serie de eventos que causaron el accidente y las medidas de importancia para cada uno de los eventos individuales que arroja el análisis. Adicionalmente el análisis cuantitativo necesita datos solamente en los eventos finales. No se necesita proporcionar datos en los eventos intermedios.



Los resultados del análisis cualitativo son una serie de eventos que causan el evento máximo y permite distinguir los eventos que en grado de importancia más contribuyen para que se dé el evento máximo o tope.

El análisis cualitativo es más comúnmente usado porque no requiere asignarle valores de frecuencia relativa o probabilidad exactos.

4. Proporciona al analizador una vista interna del comportamiento del sistema. El proceso del análisis del árbol de fallas es tan cuidadosamente prescrito y tan detallado en sus relaciones lógicas, que fuerza al analista a entender el sistema más allá del nivel en que se involucran los diseñadores del sistema, los cuales están solamente familiarizados con una parte del mismo.
5. Permite identificar errores humanos y localizar puntos de mejoras al sistema.

El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos en un árbol de fallas se muestra en la siguiente tabla.

TABLA 8. PROBABILIDADES.

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

NOTA: Estas probabilidades se dan de acuerdo a la experiencia que se tiene en la refinería, esto depende de los accidentes ocurridos en la refinería.



#### 1.4.5. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

##### 1.4.5.1. CONCEPTO.

El análisis de consecuencias (AC) es una herramienta que mediante la aplicación de modelos matemáticos proporciona información de la magnitud de los efectos esperados en caso de la ocurrencia de un accidente. Por ejemplo: las explosiones e incendios pueden causar daños por quemaduras directas o por radiación térmica, daños por proyectiles o daños por ondas de presión, una explosión por ruptura de una línea de proceso o recipiente que almacena un material peligroso (tóxico, inflamable o explosivo), puede traer consecuencias catastróficas al personal, al ambiente o a la propiedad, es por ello que se hace necesario el uso del análisis de consecuencias como herramienta para determinar los efectos de un accidente potencial identificado, ya que la información de ahí obtenida servirá como base para realizar acciones específicas que permitan reducir la probabilidad de ocurrencia de un accidente.

##### 1.4.5.2. INCENDIOS Y EXPLOSIONES.

Los incendios y las explosiones son los accidentes más frecuentes en la industria química, seguidos por las emisiones de sustancias tóxicas, esto es sorprendente si se considera la cantidad y características de las sustancias comúnmente procesadas. Los incendios y explosiones presentan muchas características similares, siendo su principal diferencia la velocidad con que se produce la liberación de energía durante la combustión del material, que es mucho menor en los fuegos que en las explosiones, ya sean estas deflagraciones o detonaciones. Existe además una relación causa-efecto y es posible que el incendio de origen a explosiones y viceversa.

Los elementos necesarios y suficientes para que se produzca un incendio se esquematizan en el llamado "Triángulo de Fuego", que se presenta en la figura 5. Un incendio no puede producirse si falta cualquiera de los elementos que componen a este triángulo. Así un incendio no puede ocurrir si no hay combustible, si no está presente en la proporción o cantidad requerida, si no hay oxígeno u otro comburente en las cantidades adecuadas o si no hay una fuente de ignición de suficiente potencia.

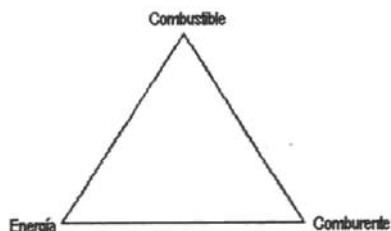


FIGURA 5. TRIÁNGULO DE FUEGO.





### 1.4.5.3. INFLAMABILIDAD<sup>(2)</sup>

El término inflamabilidad hace referencia a la mayor o menor facilidad con que una sustancia puede arder en el aire o en algún otro gas que pueda servir como comburente. La combustión es una reacción química en la que se libera energía a partir de la oxidación de un material determinado y el fuego es una consecuencia visible en determinadas circunstancias. Se admite con carácter general que la combustión convencional ocurre en la fase vapor, lo que significa que los líquidos deben evaporarse o los sólidos descomponerse y volatilizarse antes de entrar propiamente en combustión.

Los límites de inflamabilidad nos proporcionan el intervalo de concentraciones de combustible (normalmente en porcentaje de volumen), dentro del cual una mezcla gaseosa puede entrar en ignición y arder. Por debajo del límite inferior de inflamabilidad (L.I.I.), no existe suficiente combustible como para efectuar la combustión. De manera análoga, a concentraciones de combustible mayores que las del límite superior de inflamabilidad (L.S.I.) no hay suficiente comburente como para que la reacción se realice.

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.

**JET FIRES (DARDOS DE FUEGO).** Cuando un gas presurizado escapa a la atmósfera a través de un orificio o estrechamiento, se produce la típica descarga del chorro gaseoso, con un máximo de velocidad en la descarga, que puede igualar a la velocidad del sonido, dependiendo del cociente entre la presión externa e interna. Si una descarga de gas entra en ignición se produce el característico dardo de fuego.

Los modelos desarrollados para el cálculo de dardos de fuego son empíricos, pero han sido bien aceptados en la literatura. Los modelos solo describen flamas producidas por gases inflamables en aire. Los modelos de dardos de fuego requieren de una estimación de lo largo de la flama, que es determinada a partir de una ecuación empírica basada en la estequiometría de la reacción de combustión y los pesos moleculares. El flujo de radiación es determinado a partir de una estimación de la energía convertida en energía radiante a través del flujo de material combustible que se tiene. En la estimación de los dardos de fuego el peligro principal es la incidencia directa del dardo sobre otra superficie, en cuyo caso los efectos de transferencia de calor pueden exceder considerablemente a los debidos a la radiación.

Son las que ocurren fuera de lugares cerrados o recipientes de proceso. La explosión de una nube de vapor requiere como paso previo la formación de dicha nube, por ejemplo, a partir del colapso de un recipiente conteniendo un líquido inflamable volátil o a partir de la fuga de un gas inflamable.



El tiempo que tarda en ocurrir la ignición a partir del momento en el que comienza la emisión del combustible es un factor crítico en la determinación del poder destructivo de la explosión. Así en una ignición temprana el tamaño de la nube inflamable es aun lo suficiente pequeña como para que los efectos sean de baja magnitud. A medida que aumenta el tiempo hasta la ignición, los efectos van aumentando como consecuencia de la acumulación de material en la nube. Por último, si la ignición se retrasa lo suficiente, la mayor parte de los materiales emitidos puede haberse diluido hasta concentraciones por debajo del límite de inflamabilidad, con lo que los efectos serían pequeños o inexistentes.

La explosión de una nube de gas o de polvo combustible produce un frente de reacción que se desplaza a partir del punto de ignición, precedido por una onda de choque o frente de presión. Esta onda de choque subsiste después de que el material de la nube ha sido consumido, desplazándose a distancias cada vez mayores del punto de ignición, hasta que se amortigua por completo intercambiando cantidad de movimiento con los alrededores.

**POOL FIRE (INCENDIO DE UN CHARCO).** 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, cuando los vapores se encuentren sobre su límite inferior de inflamabilidad y con una fuente de ignición se forma un incendio del charco.

**FLASH FIRE (LLAMARADA).** 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 una llamarada. Las consecuencias primarias de una llamarada son las radiaciones térmicas generadas durante el proceso de combustión. Este proceso de combustión tiene una corta duración y los daños son de baja intensidad.

**FIREBALL (BOLA DE FUEGO).** El evento de bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor flameable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. El evento de bola de fuego 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 se denomina química, que son aquellas 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 uno licuado a presión. La causa inicial de una BLEVE es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente arriba del nivel del líquido, esto hace fallar el material y permite la repentina ruptura de las paredes del tanque.

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

**VCE (VAPOUR CLOUD EXPLOSION).** 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.

Para el análisis de consecuencias en la UTGC se utilizó un software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, conocido como PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) versión 6.0. Este software es aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y las compañías reaseguradoras, 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.

#### **1.4.5.4. TIPOS DE EXPLOSIONES.**

**Deflagración.** Es una reacción exotérmica que se propaga a través de los gases ardientes por conducción, convección y radiación, aún el material que todavía no ha entrado en reacción.

**Detonación.** Es una reacción exotérmica caracterizada por la presencia de ondas de choque y, a diferencia de la deflagración, la reacción se propaga a una velocidad mayor que la del sonido dentro del material sin reaccionar.



**1.4.5.5. ELEMENTOS QUE SE OBTIENEN DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**

- ⇒ Los posibles radios de afectación fuera de las instalaciones correspondientes.
- ⇒ La severidad de la afectación en los distintos radios.
- ⇒ Las medidas de seguridad a implementar para prevenir los accidentes.
- ⇒ El programa de emergencia interna en caso de que ocurra un accidente.

El análisis de consecuencias (AC) proporciona información sobre los efectos que se producirían en caso de producirse un incidente como puede ser la explosión ó ruptura de una línea de proceso, de un recipiente .que almacena un líquido peligrosos, así como los efectos de una explosión ó incendio de una nube de gas no confinada. Las explosiones e incendios pueden causar daños por quemaduras directas, por radiación térmica, daños por proyectiles o daños por ondas de presión.



# CAPÍTULO II

## TRABAJO REALIZADO EN CAMPO



En este capítulo se presenta lo realizado en campo, en primer lugar, se da la descripción del proceso Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC), así como las propiedades para los principales componentes en la línea de entrada; posteriormente se dan a conocer los circuitos seleccionados para el estudio HAZOP. Una vez realizado el análisis HAZOP se realizaron dos árboles de fallas uno para la UTGC y otro para la Planta Recuperadora de Azufre I, esto es porque la base para la Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC) es la Planta Recuperadora de Azufre I. Es importante conocer el proceso de dicha planta ya que como el gas de cola (Tail gas) es el último gas del proceso de la Planta Recuperadora de Azufre, este gas contiene cantidades apreciables de compuestos de azufre que deben reducirse antes de la última disposición de los gases a la atmósfera. Se encuentran además otros componentes principales en esta corriente como el hidrógeno, nitrógeno, dióxido de azufre con dióxido de carbono y sulfuro de carbono, es por eso que se lleva a la Unidad Tratadora de Gas de Cola, para convertir las partes de azufre y sus otros componentes en ácido sulfhídrico y este es recircularlo a la Planta Recuperadora de Azufre. Finalmente se realiza un análisis de consecuencias utilizando el software PHAST para el escenario supuesto de: ***Fuga de ácido sulfhídrico en la línea de salida hacia la planta recuperadora de azufre 1, en el domo del acumulador FA-2002.***

La recuperación de Azufre se realiza por medio de un proceso Claus, este ha sufrido una evolución continua en esfuerzos por aumentar la eficacia de recuperación de azufre del proceso. En los 30's, una fase termal se agregó a las dos fases catalizadoras que aumentaron la eficacia de la recuperación de 95% a aproximadamente 97%. En los 70's, en el proceso se introdujo una hidrogenación/hidrólisis para tratar el gas de cola del proceso de Claus. En 1988, SuperClaus se introdujo agregando un reactor de la oxidación selectivo al extremo del proceso Claus, aumentando la eficacia a aproximadamente 99%<sup>(6)</sup>.

Se ha seleccionado en especial al análisis HAZOP por ser éste, el método más reconocido y utilizado en la industria química, y porque es el que presenta más variantes metodológicas en la práctica.

A continuación se dará la explicación del proceso para la Planta Recuperadora de Azufre 1, para un mejor entendimiento de que es lo que pasa en la UTGC.



## 2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE 1<sup>(10)</sup>.

La unidad recuperadora de azufre 1 ha sido diseñada para obtener 80 Tons por día de azufre de una corriente de gas que contiene 87% en volumen de ácido sulfhídrico ( $H_2S$ ). El proceso de conversión de este ácido está basado en una combustión controlada con aire en la cual un tercio del  $H_2S$  es quemado para formar dióxido de azufre ( $SO_2$ ). Este reacciona subsecuentemente con los dos tercios residuales de  $H_2S$  en presencia de un catalizador base de bauxita para formar vapores de azufre y de agua. Los vapores de azufre son condensados y recuperados como azufre líquido.

Cuando el gas de alimentación contiene cantidades considerables de hidrocarburos y/o bióxido de carbono pueden causarse reacciones laterales para formar sulfuro de carbonilo (COS) y bisulfuro de carbono ( $CS_2$ ), reduciéndose el rendimiento de azufre y haciendo que el azufre producido se oscurezca. Por ésta razón el contenido de hidrocarburos y bióxido de carbono en el gas de alimentación es importante que se mantenga en un valor mínimo. Si la concentración es baja esencialmente todos los hidrocarburos son consumidos por combustión completa en el horno de reacción formando bióxido de carbono y vapor de agua.

También cualquier variación en el contenido de hidrocarburos en el gas alimentado es indeseable ya que cambia el requerimiento de aire para una eficiente recuperación de azufre. El gas ácido entra a la unidad recuperadora de azufre a través de un tanque separador de gas ácido.

El flujo es dependiente del modo de operación de la válvula de control de gas ácido PV-111, esta tiene dos posibles modos de operación. Por ejemplo, si el contacto HS-111 es colocado en "control de flujo" entonces el flujo de gas ácido puede ser fijado a un "gasto constante" con FIC-112; si por otro lado, es colocado en "control de presión corriente arriba" entonces el flujo de gas ácido queda con gasto variable, controlado por PIC-111, en el cual deberá mantener una presión constante en el sistema de alimentación de gas ácido; durante la operación de la unidad recuperadora de azufre con el modo de "control de presión corriente arriba", el gasto de alimentación de gas ácido cambiará automáticamente si la velocidad de producción de gas ácido de la planta de tratamiento de gas cambia.

Después de que la cantidad total de gas ácido alimentado es medida, la cantidad apropiada de aire es determinada por medio del sistema de control de relación de flujo de aire-gas ácido. Conjuntos de control 112 y 113.

Estos permiten que la combustión estequiométrica del ácido sulfhídrico en el horno de reacción produzca azufre de acuerdo a las siguientes reacciones:



Se puede observar que en las reacciones arriba indicadas que la relación apropiada de  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{SO}_2$  es 2:1 y esta relación forma la base del control del tren de recuperación de azufre con un gas agotado cuya prueba de relación  $\text{H}_2\text{S}$  a  $\text{SO}_2$  se discute más adelante.

La relación de combustión es altamente exotérmica y genera una gran cantidad de calor, la cual es removida de los gases de proceso al fluir a través de la sección de vaporización del horno de reacción y del condensador de azufre número 1.

Los gases de proceso después de salir del condensador de azufre son recalentados en el quemador auxiliar número 1.

Los gases recalentados fluyen a la primera etapa del convertidor donde azufre adicional es producido por la misma reacción de conversión antes indicada.



Esta reacción también es exotérmica, por lo que un aumento de temperatura es producido a través de la cama catalítica.

Los gases de salida de la primera etapa del convertidor son enfriados en el condensador número 2. El azufre es condensado y fluye a la fosa de azufre, como en el caso del condensador número 1.

Los gases de salida del condensador de azufre número dos son recalentados en el quemador auxiliar número dos, pasando entonces a través de la segunda etapa de conversión, donde una pequeña cantidad de azufre es producida. Los gases de salida de la segunda cama catalítica son enfriados en el condensador de azufre número 3 para remover la última pequeña cantidad de azufre.

El gas agotado saliendo del condensador de azufre número 3 fluye al incinerador donde el  $\text{H}_2\text{S}$  residual y los compuestos de azufre formados en el proceso son convertidos a  $\text{SO}_2$  antes de ser descargados a la atmósfera a través de la chimenea.

La fosa de azufre esta provista de dos bombas de transferencia de azufre líquido, el cual es enviado por tubería hasta el límite de batería para ser manejado por Petróleos Mexicanos en su sistema de disposición de azufre. La unidad recuperadora de azufre incluye el siguiente equipo:





**a) Tanque separador de gas ácido TH-1201.**

Este tanque es utilizado para remover el líquido que puede ser acarreado en la corriente de gas ácido. Está equipado con los siguientes accesorios:

- ⇒ Medidores de nivel visuales LG-182 y LG-183.
- ⇒ Contacto de alto nivel el cual indica y acciona una alarma cuando el nivel de líquido alcanza su límite alto LSR-175.
- ⇒ El tanque tiene dos bombas para manejar el agua ácida BA-1504 y BA-1505 una de las cuales está en operación y la otra como repuesto, siendo operadas automáticamente por el nivel. El contacto automático es activado cuando el nivel del líquido alcanza al punto de ajuste bajo en LCSL-174. La selección de la bomba que operará con el control de nivel automático se hace mediante el selector HS- 111. Que es de operación manual.
- ⇒ Para detectar las fallas en el arranque y paro de la bomba, se tienen las alarmas VA-174A y VA-174B que operan en caso de que el nivel de líquido rebase el punto de ajuste alto y el punto de ajuste bajo respectivamente.
- ⇒ El sistema de relevo de gas ácido al desfogue es controlada por el PIC-123. Este instrumento deberá fijarse para empezar a abrir la válvula PV-123 a  $0.63 \text{ kg/cm}^2$  y deberá estar totalmente abierta la válvula a  $0.77 \text{ kg/cm}^2$ . A la presión de  $1.0 \text{ kg/cm}^2$  el flujo de alimentación de diseño para la planta será enviado al quemador de campo.
- ⇒ El tanque separador está protegido a su presión de diseño por medio de la válvula de seguridad PSV-144 la cual está calibrada para dispararse a  $3.52 \text{ kg/cm}^2$ .

**b) Sopladores de aire BV-1801 y BV-1802.**

La unidad esta equipada con dos sopladores para aire de combustión accionados con motor eléctrico, uno es de repuesto. Cada uno de estos soplador tiene la capacidad para suministrar el 100% del aire requerido para cada tren. La capacidad mínima a que puede operar la unidad es de 40% de su flujo máximo. El venteo a la atmósfera operado automáticamente por FIC-114, sirve para evitar que los sopladores operen abajo del 40% de su flujo máximo ya que presentarían problemas de vibración ("surge").

Si el soplador falla, la presión en la línea de aire desvanece rápidamente y es detectada por el contacto de baja presión PSL-134, resultando que la planta se para automáticamente por actuación del sistema de paro de emergencia que se describe posteriormente.

En adición, cada uno de los sopladores tiene un filtro para aire en la succión y una válvula "check" en la descarga para evitar flujo inverso hacia el soplador. Se tiene una válvula de bloqueo para interconectar el soplador de repuesto y un silenciador en la línea de venteo a la atmósfera.



**c) Horno de reacción CB-1601 y cámara de combustión externa CF-1401.**

El gas ácido y su correspondiente relación de flujo de aire son alimentados a la cámara de combustión externa CF-1401 donde se realiza el quemado de  $\frac{1}{3}$  del  $H_2S$  contenido en la corriente de gas ácido y se inicia la reacción de conversión. Los gases calientes reaccionando son pasados al horno de reacción CB-1601 donde son enfriados por radiación y convección, generando vapor de media presión ( $19.5 \text{ kg/cm}^2$ ).

La cámara de combustión externa está equipada con un quemador de diseño especial para poder quemar gas ácido o gas combustible (para los arranques de la unidad). El horno de reacción es también un generador de vapor y como tal está equipado con los aditamentos normales de este tipo de equipos.

- ⇒ Medidores de nivel visual LG-178 y LG-179.
- ⇒ Sistema de control de nivel LC-124 que opera la válvula de control de nivel LV-124, con alarmas por alto y bajo nivel LAH-124 y LAL-124.
- ⇒ Cuando el nivel de agua baja del límite de control bajo, actúa el sistema de paro de emergencia (ESD) por acción del control LSL-173 y suena la alarma LAL-173.
- ⇒ El recipiente está protegido a su presión de diseño por medio de dos válvulas de seguridad PSV-139 y PSV-140, que están calibradas para dispararse a  $26.4$  y  $27 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente.
- ⇒ La presión del recipiente se lee en el indicador PI-2605.

**d) Condensadores de azufre CH-1301, CH-1302 y CH-1303.**

La planta cuenta con tres condensadores que están equipados con un supresor de arrastre en la salida de gases de cada uno de ellos. Los gases son enfriados en el condensador, pasando entonces a través del panel de una malla metálica que forma el supresor del arrastre donde el azufre acarreado es removido de la corriente de gases.

La temperatura de los gases de proceso a la salida del último condensador de azufre es controlada automáticamente por medio de una válvula de tres vías la cual regula el paso del agua de calderas a través de o por fuera del condensador CH-1303 en base a la señal del TIC-120 ya que esta temperatura nunca debe permitirse baje a  $132 \text{ }^\circ\text{C}$  porque el azufre puede solidificarse dentro de los tubos del condensador.



El enfriamiento de los gases de proceso es usado para generar vapor de agua de baja presión ( $3.7 \text{ kg/cm}^2$ ) en los condensadores de azufre número 1 y número 2 y para precalentar el agua de alimentación de vaporizadores en el condensador de azufre número 3.

**e) Quemadores auxiliares CF-1402 y CF-1403.**

La unidad cuenta con dos quemadores auxiliares los cuales son usados para recalentar los gases de proceso hasta la temperatura de reacción de conversión de azufre antes de que entren a la cama catalítica.

Esto es logrado quemando una pequeña corriente de gas ácido con aire en la cámara de combustión del quemador auxiliar. Estos productos calientes resultantes de la combustión fluyen hacia la corriente principal de gases de proceso mezclándose y aumentando la temperatura de ellos.

En orden de controlar automáticamente la temperatura de los gases de proceso a la primera etapa de conversión, se tiene un controlador de temperatura TIC-115 en la línea de inyección al convertidor, el cual la velocidad de flujo de gas ácido al quemador auxiliar mediante la FIC-122.

De esta manera, la velocidad de quemado en el quemador auxiliar es fijada por la temperatura de alimentación a la primera etapa de conversión. Exactamente lo mismo es aplicable al sistema del quemador auxiliar número 2 y la segunda etapa de conversión.

**f) Convertidor catalítico DR-1202.**

La planta tiene un convertidor con dos etapas. Las camas catalíticas están contenidas en un recipiente con dos compartimientos separados. Estos compartimientos contienen un lecho de catalizador a través del cual los gases pasan, se absorben formando vapores de azufre y agua. Como la reacción de conversión es exotérmica, un aumento de temperatura a través del lecho catalítico debe de ser notado.

La temperatura de los gases entrando al convertidor deberá siempre ser mantenida por encima de la temperatura de rocío de los vapores de azufre en la corriente de gases, de otra forma el azufre líquido se depositará sobre el catalizador desactivándolo.

Por otro lado, para lograr la mayor duración posible en la vida activa del catalizador; lo mejor es mantener la temperatura de entrada lo más bajo posible. Ordinariamente temperaturas de entrada de  $210$  a  $225^\circ\text{C}$  son bastante seguras para prevenir desactivación de la cama catalítica por depósito de azufre líquido y suficientemente bajas para lograr la máxima durabilidad del catalizador. Sin embargo, esto deberá ser determinado durante la operación de la unidad.



La desactivación de la cama catalítica puede ser detectada por una progresiva caída de temperatura en el lecho, comenzado por la cima y continuando hacia abajo hasta que las temperaturas de entrada y de salida son aproximadamente las mismas.

Aparte la desactivación del catalizador debida a depósito de azufre líquido, la formación de carbón por exceso de hidrocarburos en el gas ácido alimentado o por el deficiente quemado del gas natural en el horno de reacción o en los quemadores auxiliares durante los arranques de la unidad, producen desactivación por depósito del carbón sobre la superficie porosa del catalizador. La desactivación de este tipo generalmente empieza en la cima del lecho y se caracteriza por un lento proceso de disminución en el gradiente de temperatura a través de la cama catalítica.

Un lecho catalítico que se ha desactivado por este fenómeno puede ser reactivado, por lo menos parcialmente, por quemado del carbón depositado con exceso de aire. Una cama que está desactivada por depósito de azufre puede usualmente ser reactivada a sus valores normales por aumento en la temperatura de entrada a la cama catalítica a 230-260°C durante un período de ocho horas.

En la segunda etapa de conversión el aumento de temperatura a través del lecho catalítico es tan grande como en la primera. El valor del incremento, sin embargo, es dependiente de la eficiencia de conversión de la primera.

#### **g) Incinerador CF-1404 y Chimenea EM-1405.**

La unidad tiene un incinerador y una chimenea que sirven para ambos trenes. El incinerador está diseñado para quemar cualquier cantidad de azufre o compuestos de azufre residuales en el gas agotado para formar  $SO_2$  y descargar los gases calientes a la chimenea que los ventea hacia la atmósfera.

El incinerador usa gas natural como combustible con un 25% mínimo de exceso de aire para tener una mezcla rica en oxígeno. El exceso de aire es controlado manualmente con una válvula de mariposa localizada en la línea de admisión de aire atmosférico al incinerador.

- ⇒ Un controlador de temperatura TIC-121, montado en el tablero de instrumentos indica y controla la temperatura de los gases en la chimenea mediante la regulación del flujo de gas combustible al quemador del incinerador con la válvula de control TV-121.
- ⇒ Además, se cuenta con un registrador de temperatura TR-102-11 que sirve también como cotejo del TIC-121.
- ⇒ Para protección por alta temperatura de los gases en la chimenea se tiene una alarma UA-121.



**h) Fosa de almacenamiento de azufre líquido TV-4101.**

La unidad está provista de una fosa de azufre dividida en dos compartimentos. Su capacidad total es de 330 toneladas de azufre líquido y tiene el siguiente equipo:

- ⇒ Serpentes para calentamiento para mantener el azufre en estado líquido. Cada compartimiento tiene dos secciones separadas de serpentín por facilidad de limpieza y mantenimiento.
- ⇒ Bombas verticales encaquetadas para manejar azufre líquido accionado por motor eléctrico, una para cada compartimiento. Incluyendo la tubería y conexiones adecuada para transferir el azufre líquido al límite de batería.
- ⇒ Medición de nivel en cada compartimiento mediante un medidor manual con varilla.
- ⇒ Sistema de inyección de vapor de barrido para prevenir cualquier posibilidad de incendio, uno en cada sección.
- ⇒ Dos venteos encaquetados en cada compartimiento para descargar los humos y vapores a la atmósfera.

**i) Tanque colector de condensados TH-1203.**

La unidad está equipada con un tanque colector de condensados, el cual es utilizado para recibir el condensado producido en varias partes de la planta.

El condensado es bombeado al límite de batería utilizando la bomba BA-1506 (o auxiliar BA-1507) que es movida por motor eléctrico.

**j) Sellos de azufre EM-2801, 2802 y 2803.**

Cada condensador de azufre en la sección del incorporador está equipado con un sistema de drenaje de azufre líquido a través de un sello. Este sello opera bajo el principio de sello barométrico el cual permite que el azufre líquido fluya hacia las líneas de drenaje a presión atmosférica y al mismo tiempo mantiene la presión de operación de la unidad arriba de la presión atmosférica. El sello consiste de dos tubos concéntricos, los cuales se extienden hacia abajo del nivel de piso.

El azufre líquido fluye hacia abajo a través del tubo interior y hacia arriba por el espacio anular entre los tubos; el azufre líquido en el sello mantiene la presión arriba de la atmosférica en el equipo de la unidad. El azufre líquido derrama en la parte superior del sello y descarga al cabezal de drenaje, a través del cual fluye por gravedad a los compartimentos de la fosa de azufre. El flujo de la corriente producida de azufre puede ser observado a través de la caja de muestreo localizada a la salida del sello.



**k) Servicios**

⇒ **Alimentación de agua de calderas.**

El agua de alimentación de calderas se recibe en el límite de batería a la presión de 20.4 kg/cm<sup>2</sup> y la temperatura de 110°C en suficiente cantidad para alimentar los dos trenes.

⇒ **Vapor.**

En la unidad recuperadora de azufre hay dos sistemas de vapor:

- Un sistema de presión media operando a 19.5 kg/cm<sup>2</sup> y un sistema de presión baja operando a 3.7 kg/cm<sup>2</sup>.
- El vapor de media presión en los hornos de reacción y es consumido en las turbinas que impulsan los sopladores de aire, sin embargo la unidad recuperadora de azufre bajo condiciones normales de operación exporta vapor de media presión.

⇒ **Gas combustible.**

El gas combustible es recibido en el límite de batería proveniente del sistema de suministro de la refinería y es reducida su presión para utilizarse en la unidad. La presión se disminuye desde 3.5 kg/cm<sup>2</sup> hasta 2.11 kg/cm<sup>2</sup> por medio del controlador de presión PIC-236 que opera la válvula PV-236. Esta última tiene acción de señal para abrir para que en caso de falla de instrumentos quede en posición cerrada. El gas combustible es suministrado al incinerador el cual opera continuamente en operación normal y a cada uno de los seis quemadores de gas ácido, los cuales solo queman gas natural durante los arranques y paros de la unidad.

⇒ **Condensados.**

El condensado formado en algunos puntos de la unidad es colectado en el tanque TH-1203, del cual es bombeado al límite de batería.

⇒ **Aire de instrumentos.**

El aire de instrumentos es recibido en el límite de batería y es usado para operar el equipo neumático del sistema de paro de emergencia y el equipo neumático de los instrumentos de control.



⇒ **Sistema de paro de emergencia.**

Existe un sistema de paro de emergencia en la planta recuperadora de azufre. La única emergencia que parará la planta y el incinerador simultáneamente es una falla general en el aire de instrumentos. El sistema de paro de emergencia está diseñado para producir un paro seguro y sin peligro.

La planta puede ser parada si se tienen las siguientes circunstancias:

- Falla del soplador de aire.
- Bajo nivel en la caldera del horno de reacción.
- Paro manual por accionamiento de la botonera.

Si alguna de estas condiciones ocurriese la válvula solenoide HV-110 se abrirá, venteando el aire de instrumentos de todos los instrumentos de la planta. Con la disipación del aire de instrumentos las válvulas de control de gas ácido, gas combustible y los quemadores se cerrarán y la planta en su totalidad, cesará de operar. Sin embargo el incinerador continuará en operación.

Cuando la planta deje de operar, se enviará el gas ácido al quemador de la refinería.

⇒ **Control de purga de la caldera.**

Tanto el horno de reacción como los condensadores número 1 y número 2 están dotados de un sistema de purga continua, purgando de la zona donde el vapor y el líquido se juntan, así mismo están dotados de un sistema de purga intermitente, purgando del fondo de la caldera. La purga continua se debe fijar de una manera tal que al operarse la purga intermitente una vez cada ocho horas, la cantidad total de sólidos disueltos en el agua de calderas se puede mantener en los límites determinados por el personal de supervisión de PEMEX, (esta cantidad de sólido se debe mantener a 300 ppm máximo).

⇒ **Sistema de aire de purga.**

La mirilla, el mecanismo de falla de flama y el tubo de acero del encendedor en cada uno de los quemadores, así como la mirilla en la cámara de combustión del horno de reacción, están en contacto directo con la atmósfera de gas de proceso. Por esta razón deben ser protegidos de esta atmósfera a fin de evitar que partículas de azufre se introduzcan en estas partes y las tapen.

En operación, cuando el soplador está funcionando, esto se hace abriendo las válvulas de ½" de aire de purga, permitiendo un flujo de aire en cada una de estas partes y este flujo de aire impedirá el depósito de azufre en las mismas.

Cuando el soplador esté parado y no hay, por tanto aire disponible, se deberá cerrar inmediatamente la válvula de 2", de cada una de estas partes a fin de aislarlas del sistema de gas de proceso.

1000-1-11-61

IT-1201  
SEPARADOR  
152mm x 3020mm T-1 CAP=7750 LIT

CE-1401-N  
CAMERA DE COMBUSTION  
COTURN  
1216mm ØI X 4876mm

DR-1401  
HORNO DE REACCION  
1518mmØ X 6700mm FLUXOS  
4.08 MMSCM<sup>3</sup>/H

SR-1401-N  
RESUPLENEDOR  
FOR NO.1 & 2 STEAM REHEATER  
NPS : 504 40/VR  
HP 87W : 114 40/VR

SR-1402-N  
NO.1 STEAM REHEATER  
75 MMSCM<sup>3</sup>/H

SR-1403-N  
NO.2 STEAM REHEATER  
75 MMSCM<sup>3</sup>/H

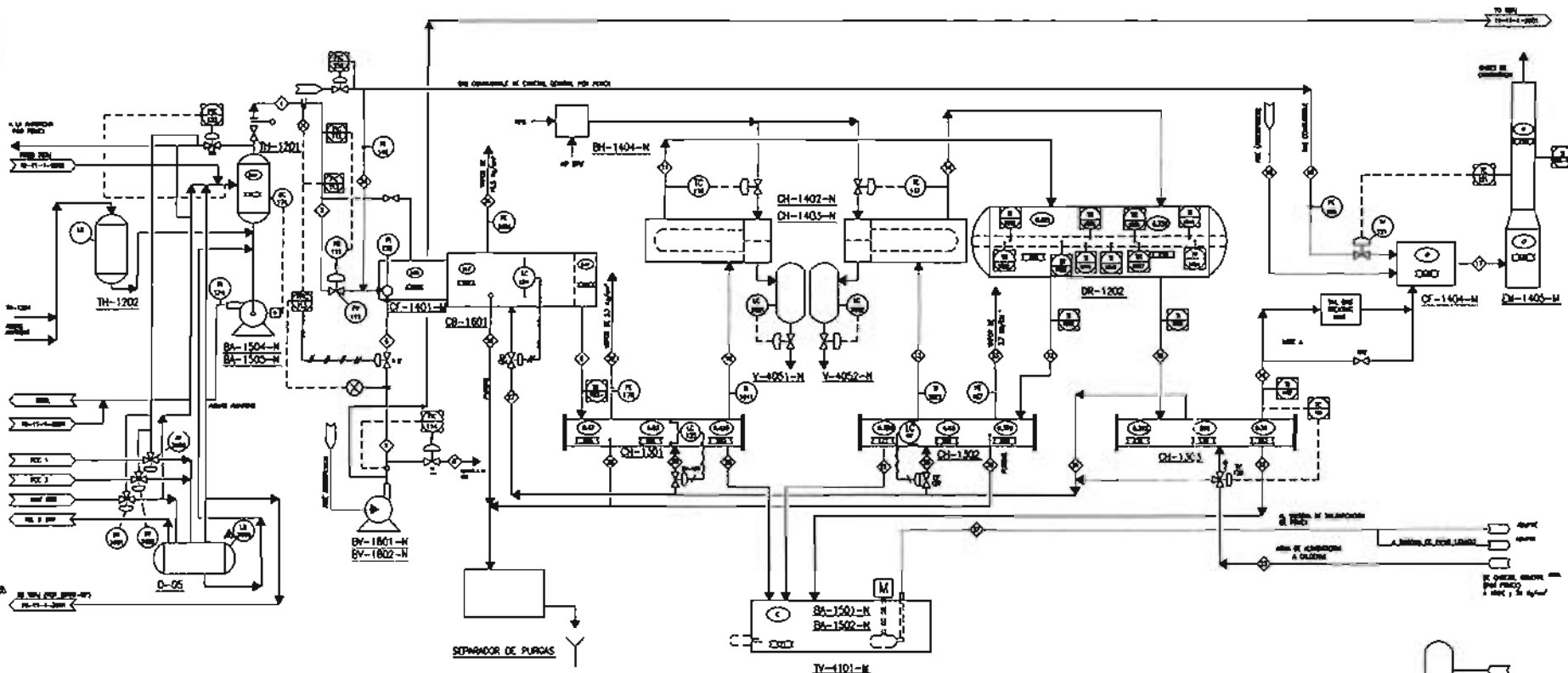
Y-4051-N  
NO.1 NPS CONDENSER DRAM  
LØ 400mmØ10mm

Y-4052-N  
NO.2 NPS CONDENSER DRAM  
LØ 400mmØ10mm

DR-1202  
CONDENSADOR  
273mmØx105mmT-1  
1000mm 2 [100PS]

CE-1404-N  
INCENDIADOR  
1016 mm ØI x 1182 mm  
2.40 MMSCM<sup>3</sup>/H

DR-1405-N  
CONDENSADOR  
ØI 610 mm D.1760000 mm  
2.40 MMSCM<sup>3</sup>/H



DR-1202  
UNIDAD COLECTOR

D-05  
COMUNICADOR DRAM

BR-1501-N/BR-1502-N (REPUESTO)  
BOMBA PARA AGUA AZUL  
300 LPM (0.76kg/cm<sup>2</sup>)

BR-1801-N/BR-1802-N (REPUESTO)  
SOPLOADOR DE AIRE DE COMBUSTION  
133.33 Nm<sup>3</sup>/min (0.76kg/cm<sup>2</sup>)

DR-1201  
CONDENSADOR DE AZULRE No.1  
207.25 mmØ x 6086 mm FLUXOS 610 M<sup>3</sup>/H (0.76kg/cm<sup>2</sup>)

TY-1101-N  
PESA DE ALMACENAMIENTO  
DE AZULRE  
4 BUS (0.76kg/cm<sup>2</sup>)

BR-1501 Y BR-1502-N  
BOMBAS DE TRANSFERENCIA  
DE AZULRE  
367.75 LPM ( 0.41 Kg/cm<sup>2</sup>)

DR-1202  
CONDENSADOR DE AZULRE No.2  
176.25 mm Ø x 5486 mm FLUXOS 604 M<sup>3</sup>/H (0.76kg/cm<sup>2</sup>)

DR-1203  
CONDENSADOR DE AZULRE No.1  
163.75 mmØ x 5486 mm FLUXOS 294 MMSCM<sup>3</sup>/H

BR-1506  
(BR-1507 ALX.)  
BOMBAS DE  
CONDENSADOS

DR-1201  
UNIDAD COLECTOR DE  
CONDENSADOS  
780 mmØI x 1220 mm

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO  
UNIDAD RESPONDERA  
DE AZULRE No.1  
10-11-1-0001  
1000-1-11-61





## 2.2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO PARA LA UNIDAD DE TRATAMIENTO DE GAS DE COLA<sup>(10)</sup>.

### CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO.

Se producirá un gas tratado que deberá cumplir con el siguiente criterio: H<sub>2</sub>S; Menos de 250 ppmv; azufre reducido total, incluyendo H<sub>2</sub>S de 300 ppmv

### PROPÓSITO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

El propósito de la Unidad de Tratamiento de Gas de Cola (UTGC) Tail Gas Treating Unit (TGTU) reside en convertir cualquier especie de azufre en el gas de cola de la Unidad Recuperadora de Azufre (URA) a ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S) para su posterior recuperación usando un solvente basado en amina. El H<sub>2</sub>S recuperado es recirculado a la URA para su conversión a azufre elemental. El gas de cola ya tratado, conteniendo un máximo de 250 ppmv de H<sub>2</sub>S es enviado a un incinerador para su destrucción.

### QUÍMICA DEL PROCESO.

El gas de cola de la URA contiene algunas especies de azufre tales como ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), azufre (S), disulfuro de carbono (CS<sub>2</sub>) y sulfuro de carbonilo (COS). Debido a que el solvente de amina solamente absorbe H<sub>2</sub>S, las otras especies deben ser convertidas a H<sub>2</sub>S en el reactor catalítico. La conversión a H<sub>2</sub>S se logra a través de dos tipos de reacción: hidrólisis e hidrogenación. Los componentes reaccionan con agua para formar H<sub>2</sub>S y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de acuerdo a las siguientes reacciones de hidrólisis:



Las especies de azufre remanente reaccionan con hidrógeno (H<sub>2</sub>) para formar H<sub>2</sub>S y agua de acuerdo a las siguientes reacciones de hidrogenación:





Las especies de azufre convertidas son eliminadas entonces del gas de cola como  $H_2S$ . Esto es llevado a través de la absorción en una solución con 40% en peso de metil-dietanolamina (MDEA). El mecanismo para la absorción es actualmente una reacción del  $H_2S$  con la metil-dietanolamina, la cual procede, según la siguiente ecuación generalizada.



Desafortunadamente, el MDEA también reacciona con el  $CO_2$  que se encuentra presente en el gas de cola:



Una consideración clave de diseño de la UTGC es el absorber  $H_2S$  tanto como sea posible, mientras se absorben solo pequeñas cantidades de  $CO_2$ . Esto reduce la recirculación indeseada de  $CO_2$  a la URA. La UTGC se diseñó para rechazar aproximadamente el 73% del  $CO_2$  en el gas de alimentación al absorbedor.

### DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE PROCESO.

La secuencia de flujo y las condiciones operativas de diseño están descritas en los diagramas de flujo de proceso 19-11-1-2001, 19-11-1-2002 y 19-11-1-2003.

El gas de cola de la URA es calentado a  $143^\circ C$  y  $0.25 \text{ kg/cm}^2 \text{ man}$ . En el calentador de alimentación (FA-2001) por combustión estequiométrica del gas natural. La combustión del gas natural se realiza en el quemador del calentador de alimentación (ME-2001) localizado en la primera cámara del calentador de alimentación.

Los productos de la combustión se combinan entonces con el gas de cola de la URA en la segunda cámara del calentador de alimentación. La corriente combinada aproximadamente a  $294^\circ C$ , es mezclada con la corriente de hidrógeno (gas de reducción). El efluente del calentador de alimentación y el hidrógeno reaccionan sobre la cama fija de catalizador en el reactor catalítico (DC-2001). Las reacciones de hidrólisis e hidrogenación, las cuales ocurren en la cama fija de catalizador, convierten esencialmente todas las especies de azufre a  $H_2S$ .

El gas que sale del reactor catalítico aproximadamente a  $354^\circ C$  es enfriado a  $177^\circ C$  en la línea de transferencia a la torre de apagado (DA-2001) por inyección directa de agua de apagado. El efluente del reactor catalítico es enfriado posteriormente a aproximadamente  $53^\circ C$  por medio del contacto a contracorriente con agua de apagado en la torre de apagado.

El agua de apagado a  $78^\circ C$  sale de la torre y se combina con agua de apagado ya filtrada para ser enviada por la bomba (GA-2001 A/B). Un mínimo del 30% del flujo de descarga de la bomba se envía a los filtros de agua de apagado (FG-2001 A/B).



El resto de la descarga de la bomba se enfría a 51°C en el enfriador de agua de apagado (EC-2001) antes de retornar al domo de la torre. Una parte del agua de apagado filtrada es usada para enfriar el efluente del reactor catalítico en la línea de transferencia mientras la mayoría es recirculada a la bomba de agua de apagado.

Una pequeña corriente del agua de apagado ya filtrada es purgada al exterior hacia el agotador de agua amarga. Dicha purga se requiere para eliminar el exceso de agua que se condensa del efluente del reactor catalítico en la torre de apagado.

Un soplador de arranque (GC-2001) es provisto para circular gas a través del reactor catalítico para presulfurar el catalizador y calentar la unidad. El soplador de arranque succiona del domo de la torre de apagado y descarga a la línea de entrada del calentador de gas de alimentación.

El gas del domo de la torre de apagado sale a 53°C y 0.16 kg/cm<sup>2</sup> man., entra abajo del plato número 12 (fondo) del absorbedor (DA-2002). El gas asciende a través del absorbedor y hace contacto a contracorriente con el solvente pobre (40% en peso de MDEA) el cual va descendiendo a través del absorbedor. El solvente pobre absorbe casi todo el H<sub>2</sub>S y algo de CO<sub>2</sub>. El solvente pobre a 43°C entra en el absorbedor por el plato número 1 (domo) o alternativamente por los platos número 3 o número 5.

Se tienen provisiones para ajustar el punto de alimentación del solvente pobre para reducir la absorción indeseada de CO<sub>2</sub>, o viceversa, para incrementar el rechazo de CO<sub>2</sub>.

El gas tratado sale del domo del absorbedor a 44°C y 0.02kg/cm<sup>2</sup> man., para fluir al incinerador. El H<sub>2</sub> no-reaccionado del proceso de hidrogenación es monitoreado por un analizador en la línea del domo del absorbedor.

Siempre se mantiene un exceso de H<sub>2</sub> en el proceso para garantizar que toda la reacción de hidrogenación en el reactor catalítico se lleve a cabo completamente.

La amina rica sale del absorbedor, a control de nivel, fluye a la bomba de amina rica (GA-2002 A/B). La descarga de esta bomba pasa a través del filtro y amina rica (FG-2002) para la eliminación de partículas.

Un flujo mínimo del 30% de esta corriente pasa a través del absorbedor de carbono- amina (FG-2003) y del pos-filtro de carbón (FG-2004) para la eliminación continua de contaminantes solubles. La amina rica pasa por el lado tubos del intercambiador de amina pobre/rica (EA-2001 A/B) y es calentada a 93°C usando amina pobre que sale del fondo del agotador (DA-2003).



La amina rica a 93°C entra al agotador (DA-2003) en el plato número 5 del domo. En el agotador, el H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub> son agotados de la amina rica con vapor generado de la ebullición de la solución de amina en el rehervidor del agotador (EA-2002). Los vapores del domo del agotador a 113°C entran al condensador del domo del agotador (EC-2003) donde se enfrían a 51°C. El líquido condensado se separa del gas ácido en el acumulador del agotador (FA-2002) y es bombeado al agotador como reflujo por medio de la bomba de reflujo del agotador (GA-2004 A/B). El gas ácido del acumulador del agotador sale a control de presión y es enviado a la Unidad Recuperadora de Azufre o al desfogue del gas ácido.

Se tienen dispositivos para ajustar el contenido de agua en la solución de amina y mantener una concentración del 40% en peso de solución MDEA. El agua puede ser removida corriente debajo de la bomba de reflujo del agotador y enviada al exterior al agotador de agua amarga. Se puede adicionar agua de reposición al fondo del agotador con la línea de suministro de condensado limpio.

La amina pobre a 125°C sale del fondo del agotador a control de flujo y fluye a través del lado coraza del intercambiador de amina pobre/rica donde se enfría a 85°C calentando la alimentación de amina rica. La amina pobre es enviada por la bomba (GA-2003 A/B) al aerofriador (EC-2002) y al enfriador (EA-2003) donde se enfría aproximadamente a 43°C antes de regresar al absorbedor.

Se tienen provisiones para la reposición de la solución de amina del tanque de almacenamiento (TV-2001) por medio de la bomba de carga de amina (GA-2006). Dicha solución de reposición con la bomba de carga de amina puede ser enviada ya sea directamente al fondo del absorbedor a través del filtro de la bomba de la fosa de amina (FG-2005) o a través de la fosa de amina (TV-2002) y el filtro. La bomba de carga de amina también puede ser usada para circular solución de amina en su tanque de almacenamiento o a través del tanque pasando por el filtro de la fosa.

La solución de amina es removida del sistema recibiendo en el tanque de almacenamiento de amina usando el bypass ubicado en la salida del enfriador de amina pobre o a través del filtro de la fosa de amina vía drenajes de amina. La amina de la fosa es de bajo grado por recibir material del drenaje de amina. Los vapores desplazados resultantes del líquido fluyen al tanque de almacenamiento de amina o a la fosa de amina y son dirigidos a la canasta de carbón (FG-2006) antes de ser venteados a la atmósfera.

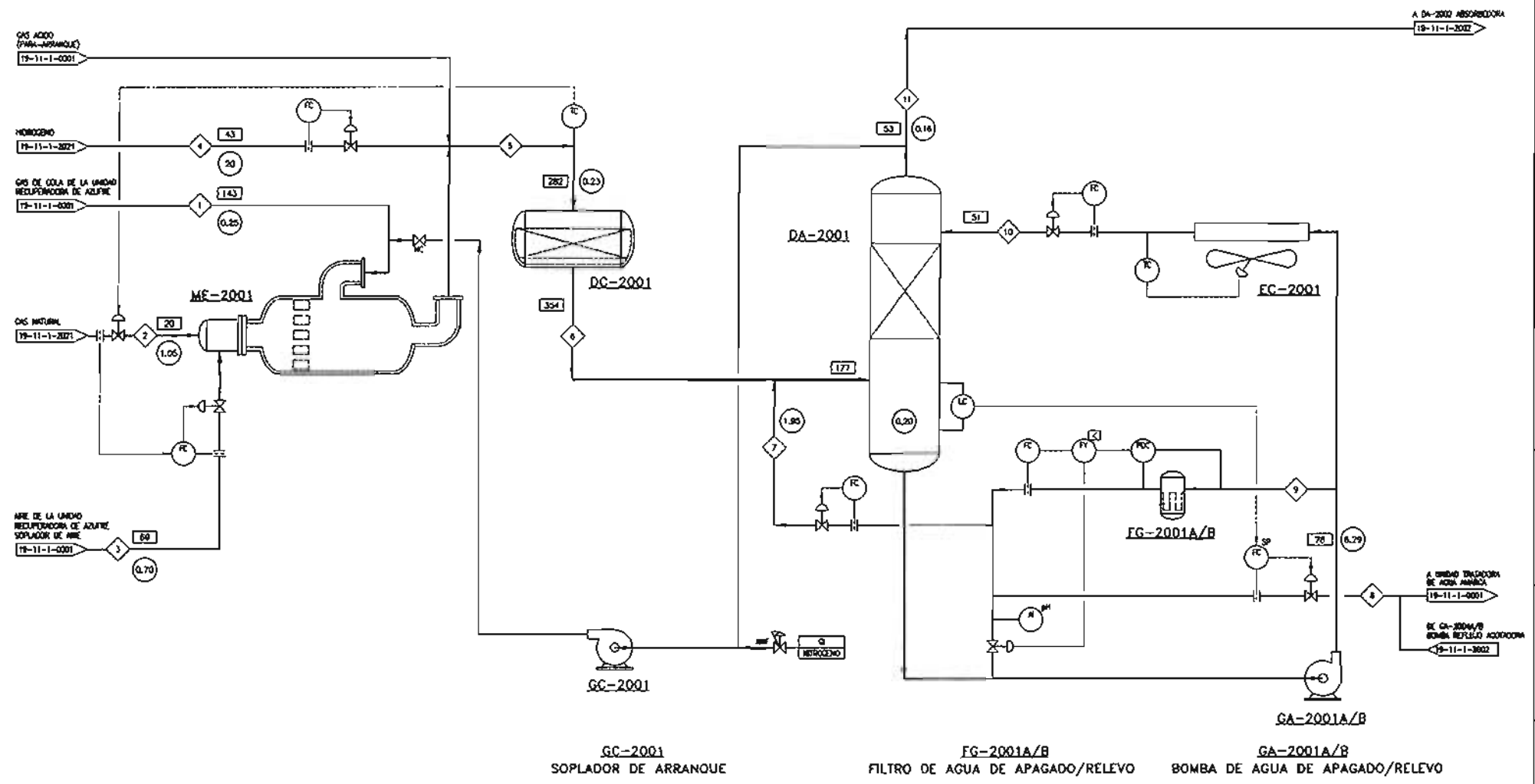
ME-2001  
QUEMADOR CALENTADOR ALIMENTACION

FA-2001  
CALENTADOR ALIMENTACION

DC-2001  
REACTOR CATALITICO

DA-2001  
TORRE DE APAGADO

EC-2001  
ENFRIADOR DE AGUA APAGADO



GC-2001  
SOPLADOR DE ARRANQUE

FG-2001A/B  
FILTRO DE AGUA DE APAGADO/RELEVO

GA-2001A/B  
BOMBA DE AGUA DE APAGADO/RELEVO

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO  
UNIDAD TRATAMIENTO DE GAS DE COLA  
19-11-1-001  
REV. 1  
1002-1-11-01



COPI-1-11-84

TV-2002 FOSA DE AMINA      TV-2001 TANQUE ALMACENAMIENTO DE AMINA      FG-2006 CANISTER DE CARBON

AMINA PORRE  
TS-11-1-2002

AMINA PORRE  
TS-11-1-2002

FG-2005 FILTRO BOMBA FOSA DE AMINA      GA-2005 BOMBA FOSA DE AMINA      GA-2006 BOMBA CARGA DE AMINA

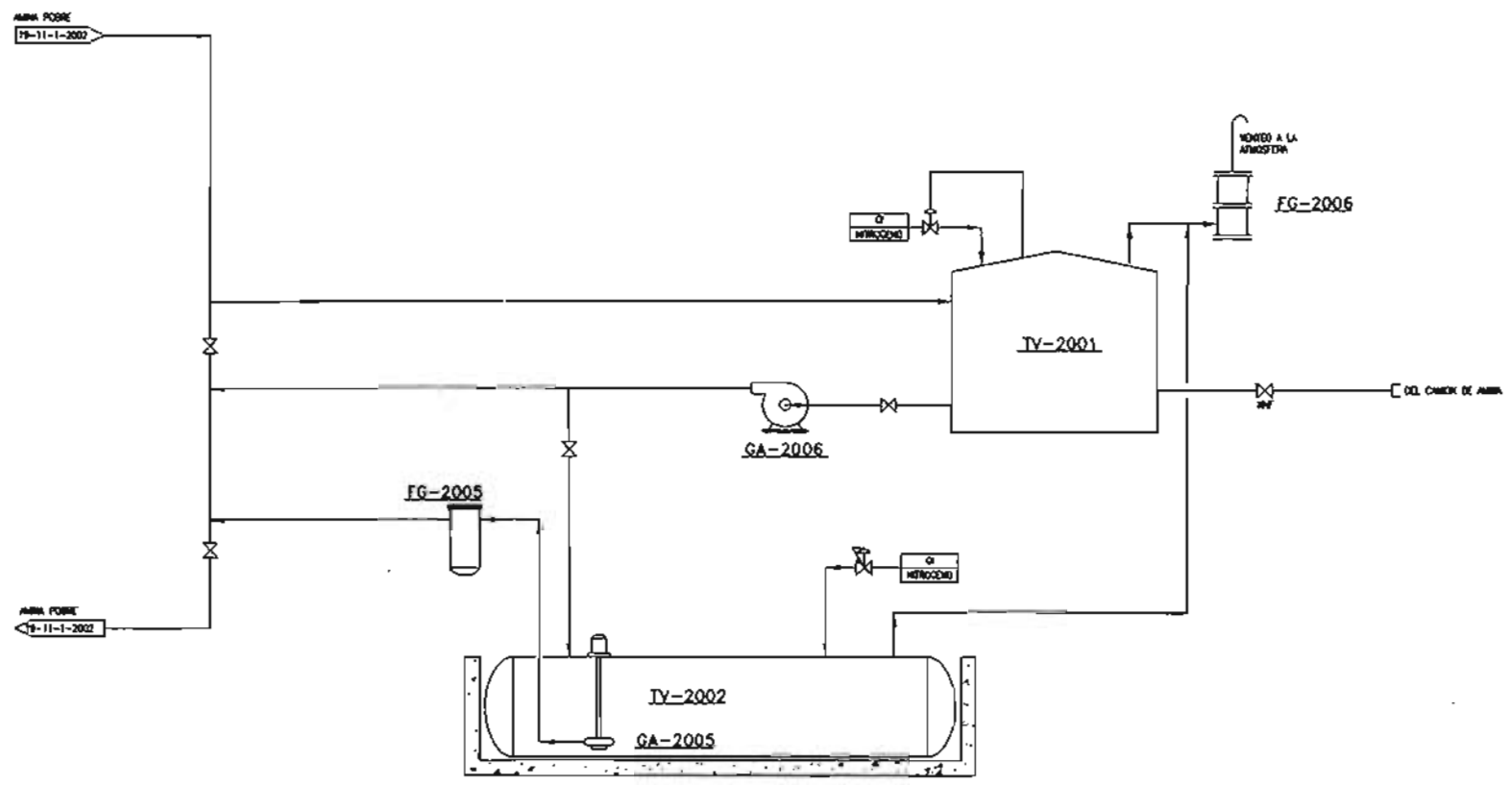


DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO  
UNIDAD TRAZADORA DE GAS DE COCA  
TS-11-1-2002  
REV. 1



## 2.3. CIRCUITOS SELECCIONADOS.

### 2.3.1. DIAGRAMAS UTILIZADOS PARA LAS SESIONES HAZOP.

Los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI's) de los circuitos seleccionados, que fueron actualizados mediante revisión en campo y utilizados durante las reuniones de análisis de peligro y operabilidad para la UTGC, son los siguientes:

**TABLA 9. DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN UTILIZADOS EN EL HAZOP DE LA UTGC.**

Unidad Tratadora de Gas de Cola		
No. CIRCUITO	Nº DIAGRAMA	NOMBRE DEL DIAGRAMA
1	19-12-1-2011 Rev. 6	Calentador de carga FA-2001
2	19-12-1-2012 Rev. 6	Reactor catalítico DC-2001.
3	19-12-1-2013 Rev. 6	Torre de apagado y bomba de recirculación.
4	19-12-1-2016 Rev. 6	Absorbedor DA-2002.
5	19-12-1-2016 Rev. 6, 19-12-1-2017 Rev. 6, 19-12-1-2018 Rev. 6	Absorbedor DA-2002. Filtros y absorbedor de amina rica. Cambiadores de amina rica/amina pobre.
6	19-12-1-2019 Rev. 6, 19-12-1-2018 Rev. 6, 19-12-1-2021 Rev. 6 y 19-12-1-2016 Rev. 6	Torre agotadora DA-2003. Cambiadores de amina rica/amina pobre. Enfriador de amina pobre y cambiador amina pobre/amina rica. Absorbedor DA-2002.
7	19-12-1-2019 Rev. 6	Torre agotadora DA-2003.
8	19-12-1-2020 Rev. 6	Acumulador de reflujo de la torre agotadora DA-2003.

NOTA. Los diagramas mencionados anteriormente no se anexan, por cuestiones de confidencialidad para PEMEX.





### 2.3.2. CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS NODOS.

El objetivo de esta etapa es el seleccionar la instalación en unidades individuales de estudio llamados nodos. A partir del estudio de diseño, de la operación y del mantenimiento de la instalación, se tienen los elementos para generar un esquema de nodos que emplea los siguientes criterios:

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

### 2.3.3. NODOS SELECCIONADOS.

La Unidad Tratadora de Gas de Cola (UTGC) fue dividida en ocho nodos, los cuales fueron seleccionados por un cambio de propiedades de la carga o por equipos críticos o líneas críticas.

A continuación se mencionan las desviaciones analizadas para cada nodo.

#### **Nodo 1.** Calentador de carga FA-2001.

Desviación analizada:

- ⇒ Baja temperatura.

#### **Nodo 2.** Reactor catalítico DC-2001.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ No hay reacción.
- ⇒ Alta temperatura.
- ⇒ Baja temperatura.
- ⇒ Alta presión diferencial.

#### **Nodo 3.** Torre de apagado DA-2001.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ Bajo nivel.
- ⇒ Alta temperatura.
- ⇒ pH bajo.



**Nodo 4.** Torre absorbedora DA-2002.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ Bajo nivel.
- ⇒ Alto nivel.
- ⇒ Alta temperatura.
- ⇒ Concentración de amina menor a 35% en peso.

**Nodo 5.** De la succión de la bomba GA-2002A/B, al filtro FG-2002, al filtro FG-2003, al filtro FG-2004, intercambiador EA-2001A/B.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ Bajo flujo en la succión de la GA-2002 A/B.
- ⇒ Alta presión en la descarga de la GA-2002 A/B.

**Nodo 6.** De la succión de la bomba GA-2003A/B, al enfriador EC-2002, al enfriador EA-2003 y a la torre DA-2002.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ Menos flujo en la succión de la GA-2003A/B.
- ⇒ Alta presión en la descarga.

**Nodo 7.** Torre agotadora DA-2003.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ Bajo nivel.
- ⇒ Alto nivel.

**Nodo 8.** Tanque acumulador del agotador FA-2002.

Desviaciones analizadas:

- ⇒ Bajo nivel.
- ⇒ Alto nivel.



## 2.4. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.

El árbol de fallas consiste en varios niveles de sucesos, conectados por puertas lógicas "Y" o puertas lógicas "O". Las citadas conexiones lógicas suelen representarse utilizando el álgebra de Boole. Las reglas utilizadas de más frecuente aplicación al análisis de árbol de fallas se muestran en la tabla 10.

TABLA 10. REGLAS BOOLEANAS DE USO FRECUENTE EN EL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS<sup>(9)</sup>.

Regla	Forma matemática
Conmutativa:	$A*B = B*A$ $A+B=B+A$
Asociativa:	$A*(B*C)=(A*B)*C$ $A+(B+C)=(A+B)+C$
Distributiva:	$A*(B+C)=A*B+A*C$ $A+(B*C)=(A+B)*(A+C)$
Identidad:	$A*A=A$ $A+A=A$
De la Absorción:	$A*(A+B)=A$ $A+(A*B)=A$

### Teoría de Conjuntos.

Compuerta "O"  $P(A) \text{ o } P(B) = P(A)+P(B)-P(A)*P(B)$

Compuerta "Y"  $P(A) \text{ y } P(B) = P(A)*P(B)$

Cálculo de la Probabilidad.

$$P = 1 - e^{-ft}$$

Donde:

f = eventos/año

t = años



El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos en un árbol de fallas se describe en la tabla 8 de la sección 1.4.4.6.

#### 2.4.1. DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS PARA EL ANÁLISIS FTA.

Se seleccionaron arbitrariamente dos escenarios para realizar análisis FTA, dichos escenarios son: 1. Daños a la chimenea EM-1045 por alta temperatura y 2. Baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001. Los escenarios aquí descritos, son para mostrar la sucesión de causas que desencadenarían al evento culminante de un incendio o sobrepresión y no porque hayan ocurrido, se revisó el registro de incidentes y accidentes de la planta y no se han presentado incidentes ni accidentes de importancia. A continuación se describen los escenarios. Es importante mencionar también que se realizó un FTA para la UTGC y otro para la Planta Recuperadora de Azufre ya que esta última es importante para la Unidad de Tratamiento del Gas de Cola.

En estos FTA's se observan tres tipos de eventos:

1. El evento culminante (top event).
2. Los eventos intermedios.
3. Los eventos básicos.

En los diagramas de FTA podemos observar la siguiente simbología:

T= Evento culminante (Top event).

M<sub>i</sub>= Evento intermedio i (intermediate event).

B<sub>j</sub>= Evento básico j (Basic events).



TABLA 11. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE LOS DAÑOS A LA CHIMENEA EM-1045 POR ALTA TEMPERATURA.

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS		
ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
1. Daños a la chimenea EM-1045 por alta temperatura.	La chimenea EM-1045 puede tener daños por arrastre de hidrocarburos en los gases de cola, por falla en abierto de la válvula de alimentación de gas combustible o por falla en cerrado de PCV-200.	El incremento en la temperatura en la chimenea puede causar daños a los internos de la misma como una probable fractura.



TABLA 12. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001.

ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
2. Baja Temperatura en el reactor catalítico DC-2001.	La temperatura del reactor catalítico puede bajar a límites inferiores de operación por falta de hidrógeno o por falla del quemador EM-2001 del calentador de carga FA-2001.	La baja temperatura en el reactor puede causar baja conversión del gas de cola, con una posible obstrucción de la cama catalítica por depósito de azufre con arrastre de $\text{SO}_2$ a la torre de apagado DA-2001, bajando considerablemente el pH, provocando corrosión severa a la torre de apagado DA-2001, con posibilidad de fuga de $\text{H}_2\text{S}$



## 2.5. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

El análisis de consecuencias (AC) nos proporciona información sobre los efectos que se producirían en caso de una explosión, ruptura de un recipiente, una línea de proceso, una explosión o incendio de una nube de gas no confinada, también los efectos por una fuga de material tóxico. Las explosiones e incendios pueden causar daños por quemaduras directas o por radiación térmica, daños por proyectiles o por ondas de presión.

El escenario aquí descrito, es supuesto y se seleccionó de acuerdo a la importancia, toxicidad, capacidad o inflamabilidad de las sustancias que maneje el equipo y conforme al estudio de los incidentes ocurridos dentro la planta, con la finalidad de mostrar los daños que pueden ocasionarse por eventos de esta naturaleza.

Se seleccionó el escenario para el análisis de consecuencias que a continuación se describe:

1. Fuga de ácido sulfhídrico en la línea de salida hacia la planta recuperadora de azufre 1, en el domo del acumulador FA-2002.

Cabe mencionar que el escenario seleccionado para el análisis de consecuencias, es hipotético.

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".

Para el análisis de consecuencias en la planta se utilizó un software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, conocido como **PHAST** (Process Hazard Analysis Software Tools) versión 6.0.



### 2.5.1. CONSIDERACIONES PARA EL 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:
  - a) Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HAZOP.
  - b) 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:

a) 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 el escenario se considera un orificio de 0.50" de diámetro.

b) Las condiciones de presión y temperatura se tomaron de los diagramas de flujo de proceso para el 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:





TABLA 13. CRITERIOS POR EL INE PARA ANÁLISIS DE RIESGOS.

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

**Abreviaturas:**

IDLH: Immediately Dangerous to Life and Health

(Concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y la Salud)

TLV: Treshold Limit Value, ya sea para 15 minutos o para una jornada de ocho horas.

(Valor Límite Crítico)

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 alcancen a plantas vecinas.

**2.5.2. NIVELES DE TOXICIDAD, PARA PLAN DE RESPUESTA A EMERGENCIAS.**

Para dar respuesta a una emergencia por fuga de productos tóxicos, los niveles de toxicidad se han clasificado para tres niveles de concentración en el ambiente y como resultado se tienen tres niveles de plan de respuesta de 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 14 y 15 siguientes se muestran efectos por diferentes niveles de radiación térmica y sobrepresión, para personas y a instalaciones.

TABLA 14. NIVELES DE RADIACIÓN<sup>(18)</sup>.

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

TABLA 15. NIVELES DE SOBREPRESIÓN<sup>(18)</sup>.

<i>PRESIÓN</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<b>0.5 psi</b> <b>(0.035 bar)</b>	La sobrepresión a la que se presentan 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.
<b>1 psi</b> <b>(0.07 bar)</b>	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 <sup>2</sup> se considerará como la zona de Alto Riesgo.



TABLA 16. DAÑOS EN PLANTAS Y REFINERÍAS

PRESION (psig)	EVALUACION DE DAÑOS POR EXPLOSIONES	
	REFINERÍAS	PLANTAS
0.5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): rotura de ventanas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (techo metálico): rotura de ventanas y medidores.</li><li>- Cuarto de control (techo de concreto): rotura de ventanas y medidores.</li><li>- Torre de enfriamiento: falla de mamparas</li></ul>
1.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): deformación de la estructura.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto control (techo metálico): conectores dañados por colapso del techo.</li><li>- Cuarto de control (techo de concreto): dañados por colapso del techo.</li><li>- Tanques de almacenamiento (techo cónico): colapso del techo.</li></ul>
2.0		<ul style="list-style-type: none"><li>- Calentador: fractura de ladrillos.</li><li>- Reactor químico: rotura de ventanas y medidores.</li><li>- Filtros: falla de paredes de concreto.</li></ul>
3.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Edificio de mantenimiento: deformación.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tanque de almacenamiento (techo cónico): el equipo se levanta (llenado al 50%).</li><li>- Cubículo de instrumentos: líneas de fuerza dañadas, controles dañados.</li></ul>
5.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Torre de regeneración: deformación de la columna.</li><li>- Edificio de mantenimiento: derrumbe de muros de tabique, deformación de la estructura.</li><li>- Tuberías: derrumbe de la estructura y rompimiento de líneas.</li><li>- Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calentador: unidad destruida.</li><li>- Regenerador: marcos colapsados.</li><li>- Motor eléctrico: daño por proyección de partículas.</li><li>- Ventilador: carcasa y caja dañadas.</li></ul>



TABLA 16 CONTINUACIÓN.

PRESION (psig)	EVALUACION DE DAÑOS POR EXPLOSIONES	
	REFINERIAS	PLANTAS
7.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Torre rectangular (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre.</li><li>- Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura.</li><li>- Torre fraccionadora: (montada sobre pedestal de concreto) caída de la torre.</li><li>- Torre de regeneración derrumbe de la estructura y la torre.</li><li>- Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura, (estructura de acero) caía de la torre.</li><li>- Tanques de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques llenos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reactor catalítico: partes internas dañadas.</li><li>- Columna fraccionadora: unidad destruida.</li></ul>
10.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de hierro): derrumbe de estructura de hierro.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida.</li><li>- Transformados eléctrico: unidad destruida.</li><li>- Ventilador: unidad destruida.</li><li>- Regulador de gas: controles dañados, carcasa y caja dañadas.</li><li>- Columna de extracción: la unidad se mueve de sus cimientos.</li></ul>
20.0		<ul style="list-style-type: none"><li>- Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.</li></ul>
30.0		<ul style="list-style-type: none"><li>- Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos.</li><li>- Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.</li></ul>



### 2.5.3. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE ACCIDENTE.

A continuación se describe el escenario de incendio, explosión y dispersión de nube tóxica seleccionado, fundamento y efectos, así como también los modelos de evaluación de riesgos usados para dicho escenario.

RT: Radiación Térmica

OP: Onda de Presión.

P: Projectiles.

T: Toxicidad

TABLA 17. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN.

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS						
TIPO DE ESCENARIO	CAUSA Y FUNDAMENTO	EFECTOS CONSIDERADOS				MODELO DE EFECTO UTILIZADO
		RT	OP	P	T	
1. Fuga de ácido sulfhídrico en la línea de salida hacia la planta recuperadora de azufre 1, en el domo del acumulador FA-2002.	La fuga puede ocurrir por formación de un poro en la línea del domo del acumulador FA-2002, por corrosión interna de la línea.				X	1. Modelo de dispersión de nube tóxica.



#### 2.5.4. DATOS REQUERIDOS PARA EL ESCENARIO.

TABLA 18. FUGA DE ÁCIDO SULFÚRICO EN LA LÍNEA DE SALIDA DEL FA-2002 HACIA LA PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE 1.

PARÁMETRO	VALOR
Escenario	Fuga
Material	Ácido sulfúrico (H <sub>2</sub> S)
Temperatura de operación	51 °C
Presión de operación	0.72 Kg/cm <sup>2</sup>
Masa de material	86.50 Kg
Humedad relativa	67%
Temperatura ambiente promedio	27°C
Temperatura ambiente máxima	40°C
Velocidad del viento mín.	20 km/hr.
Dirección del viento Dominante/Reinante	De N.E a S.O/De S.E a N.O
Altura sobre el nivel del mar	327 metros

En la industria química un gran número de accidentes se producen por la pérdida de contención en depósitos y tuberías que almacenan y transportan productos en forma gaseosa o líquida. En la mayoría de los casos estas sustancias son peligrosas para la salud y el medio ambiente. Es por eso que se considera importante este análisis de consecuencias.

En el siguiente capítulo se podrán observar los resultados y conclusiones de los análisis de riesgos explicados en este capítulo.



CAPÍTULO II  
**CAPÍTULO III**  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES



En este capítulo se presentan los resultados del análisis de riesgos realizado en la Unidad Tratadora de Gas de Cola (UTGC). Las técnicas empleadas para la realización del análisis de riesgos son: Análisis de riesgos y Operabilidad HazOp, Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias.

Del análisis HAZOP se obtuvieron una serie de recomendaciones, las cuales se presentan en orden jerárquico en el plan de trabajo o registro de medidas de análisis de riesgos. Para análisis de árbol de fallas se seleccionaron dos eventos culminantes:

1. Daños a la chimenea EM-1405 por alta temperatura y
2. Baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001.

Para el análisis de consecuencias se considero un escenario:

1. Fuga de ácido sulfhídrico en la línea de salida hacia la planta recuperadora de azufre 1, en el domo del acumulador FA-2002.

Del análisis HAZOP realizado en la Unidad de Tratamiento de Gas de Cola, se obtuvieron como resultado una serie de recomendaciones, las cuales se presentan a continuación, en orden jerárquico, los escenarios en los cuales están fundamentados están numerados y se sugiere revisar las hojas de las sesiones HAZOP si se desea saber cual es el escenario del que se emite la recomendación, estas hojas se encuentran a continuación.

En la tabla de registro de recomendaciones se incluye la columna de frecuencia y gravedad para hacer notar a que rubro pertenece la consecuencia; ya sea por seguridad a la vida, daños a las instalaciones, daños al medio ambiente o daños a la operación y para esto se utilizan las siguientes abreviaturas:

**S. a la V.:** Seguridad a la vida.

**INST.:** Daños a las instalaciones.

**M. AMB.:** Daños al medio ambiente.

**OPER.:** Daños a la operación.





### **3.1. HAZOP: UNIDAD DE TRATAMIENTO DE GAS DE COLA (UTGC).**

A continuación se presenta el análisis realizado para la Unidad Tratadora de Gas de Cola (UTGC).

Las frecuencias y las gravedades descritas en las tablas siguientes son las utilizadas para dicho análisis.

**TABLA 19. LAS FRECUENCIAS QUE SE UTILIZAN PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS RIESGOS SON LOS SIGUIENTES :**

<b>NUM.</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
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	Importante	No se espera que ocurra en la vida de la planta.



**TABLA 20. GRAVEDADES QUE SE UTILIZAN PARA LA ESTIMACIÓN DE RIESGOS.**

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 de la refinería.
		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 de equipo o sección de planta

**ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA**



CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES



HOJAS DE REGISTRO HAZOP.

	COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN	ÁREA / PROCESO: UTGC		FECHA: 2 de julio de 2003.		
	Nodo 1: CALENTADOR DE CARGA FA-2001					
<b>Desviación 1: BAJA TEMPERATURA</b>						
Causas:	Consecuencias:	F	G	Protecciones	Recomendaciones	Clase
Falla en cerrado de la válvula TV-2003 de alimentación de gas combustible.	1. La carga llega al reactor a baja temperatura. 2. Baja la eficiencia de reacción en el reactor DC-2001.	3	3	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos 2. Se acciona el paro de emergencia por falla de flama. 3. Mirillas. 4. Directo de TV-2003 de alimentación de gas combustible. 5. Alarma por baja presión en la llegada del gas. 6. Indicador de presión PI-2010.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D
Falla en cerrado de la válvula FV-2001 de alimentación de aire de combustión.	1. La carga llega al reactor a baja temperatura. 2. Baja la eficiencia de reacción en el reactor DC-2001.	3	3	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos 2. Se acciona el paro de emergencia por FSLL-2001. 3. Mirillas.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D
Falla de sopladores de aire de combustión BV-1801 o BV-1802.	1. La carga llega al reactor a baja temperatura. 2. Baja la eficiencia de reacción en el reactor DC-2001.	3	3	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos 2. Se acciona el paro de emergencia por FSLL-2001. 3. Mirillas. 4. Soplador de relevo.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo mecánico a sopladores.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPañIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 2: REACTOR CATALÍTICO DC-2001</b>					
<b>Desviación 1: NO HAY REACCIÓN</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla en cerrado de la válvula FV-2040 de alimentación de hidrógeno.	1. Baja la eficiencia de reacción en el reactor DC-2001.	3	4	1. Se reduce la relación aire-gas natural en el FA-2001. 2. FAL-2040 de la línea de hidrógeno.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D
Baja temperatura por falla del calentador de alimentación.	1. Carga a baja temperatura. 2. Depósitos de azufre y obstrucción en la cama catalítica. 3. Paro de planta.	3	3	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Alarma por falla de flama BAL-2012 y BAL-2011. 3. Sistema de paro y emergencia. 4. Inyección de nitrógeno al actuar el sistema de paro de emergencia.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 2: REACTOR CATALÍTICO DC-2001</b>					
<b>Desviación 2: ALTA TEMPERATURA</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Exceso de aire para el quemado de gas natural.	1. Incremento de temperaturas en el reactor.	3	4	1. Controlador de TIC-2003 del calentador de carga. 2. Alarma TAH-2048. 3. Inyección de nitrógeno al actuar el paro de emergencia. 4. Alarma TAHH-2200 en el calentador de carga. 5. Relacionador de aire-gas FFIC-2001.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D

	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 2: REACTOR CATALÍTICO DC-2001</b>					
<b>Desviación 3: BAJA TEMPERATURA</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Bajo flujo de hidrógeno.	1. Baja eficiencia de conversión del gas de cola. 2. Se enfría y se obstruye la cama catalítica por depósito de azufre. 3. Arrastre de SO <sub>2</sub> a la torre de apagado DA-2001 y disminuye el pH. 4. Corrosión en los internos de la torre de apagado DA-2001.	3	4	1. Controlador FIC-2040 con alarma con bajo flujo de hidrógeno. 2. Indicador PDI-2201 con alarma por alta presión diferencial. 3. Indicador TI-2042 al TI-2048 con alarma de baja temperatura. 4. Relacionador aire-gas natural FIC-2001. 5. Capacitación al personal operativo.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 2: REACTOR CATALÍTICO DC-2001</b>					
<b>Desviación 4: ALTA PRESIÓN DIFERENCIAL</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Obstrucción de la cama catalítica por depósito de azufre.	1. Baja la conversión de la reacción. 2. Presionamiento en el calentador de carga FA-2001. 3. Arrastre de SO <sub>2</sub> a la torre de apagado DA-2001 y disminuye el pH. 4. Corrosión en los internos de la torre de apagado DA-2001.	3	4	1. Indicador PDI-2201 con alarma con alta presión diferencial. 2. Indicador PI-2200A/B. 3. Indicador TI-2042 al TI-2048.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D

	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 3: TORRE DE APAGADO DA-2001</b>					
<b>Desviación 1: BAJO NIVEL</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla del controlador de nivel LIC-2061 por falta de señal al transmisor.	1. Cavitación de las bombas GA-2001 A/B. 2. Daños a sellos mecánicos. 3. Pérdida de nivel de sello entre la torre y la succión de la bomba. 4. Fugas de gas ácido.	3	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Indicador visual de nivel LG-2060 en la DA-2001. 3. Línea de inyección de condensado.	1. Continuar con el programa preventivo a instrumentos.	D



### CAPÍTULO III RESULTADOS Y CONCLUSIONES



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 3: TORRE DE APAGADO DA-2001</b>					
<b>Desviación 2: ALTA TEMPERATURA</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Disminución o pérdida de la recirculación de agua.	1. Incremento de la temperatura de los gases de salida de la torre de apagado. 2. Arrastre de humedad a la torre absorbidora DA-2002.	3	4	1. Directo de la FV-2084. 2. Bomba de relevo GA-2001 A/B. 3. Indicador de presión diferencial PDI-2059 4. Indicador de temperatura TI-2072 en el domo de DA-2001. 5. TI-2078 a la entrada del enfriador EC-2001. 6. Filtro de relevo FG-2001 A/B.	1. No hay.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 3: TORRE DE APAGADO DA-2001</b>					
<b>Desviación 3: ALTA PRESION</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
No hay.	No hay.	4	4	No hay.	No hay.	D

	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 3 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 3: TORRE DE APAGADO DA-2001</b>					
<b>Desviación 4: pH BAJO</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Descontrol en la planta de azufre, alta relación aire/gas ácido que produce alta concentración de SO <sub>2</sub> .	1. Disminución del pH del agua de la torre de apagado. 2. Daños a líneas y equipos por corrosión severa. 3. Fugas de gas ácido. 4. Paro de emergencia.	3	4	1. Relacionador de aire-gas ácido FFIC-113 en la planta de azufre. 2. Inyección de amoníaco para incremento del pH, pHmetro AT-2076. 3. Línea para inyección de condensado. 4. Sistema de paro de emergencia. 5. Detectores de toxicidad.	1. Continuar con el seguimiento al control de corrosión interna de la torre de apagado DA-2001 y sus equipos y líneas periféricos. 2. Continuar con el seguimiento al mantenimiento del pHmetro AT-2076 y contar con las refacciones mínimas recomendadas por el fabricante. 3. Continuar con el seguimiento al programa de mantenimiento a detectores de toxicidad.	D





**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 10 y 11-julio- 2003</b>		
	<b>Nodo 4: TORRE ABSORBEDORA DA-2002</b>					
<b>Desviación 1: BAJO NIVEL</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla del controlador FIC-2105.	1. Pérdida de presión diferencial. 2. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 3. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre. 4. Contaminación ambiental.	3	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Bomba de relevo GA-2002/B. 3. Indicador de presión diferencial PDI-2092. 4. Analizador de vapores AT-2095, con alarma de alto contenido de ácido sulfhídrico en el domo de la DA-2002. 5. Línea de reposición de amina pobre con la GA-2006.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D
Taponamiento de los intercambiadores de amina pobre/amina rica EA-2001 A o B.	1. Pérdida de presión diferencial. 2. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 3. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre. 4. Presionamiento en la descarga de la bomba GA-2002 A/B 5. Contaminación ambiental.	3	3	1. Programa de reparación general de plantas. 2. Filtros FG-2002, FG-2003 y FG-2004. 3. Indicador visual de nivel LG-2096. 4. Indicador de presión diferencial PDI-2092. 5. Analizador de vapores AT-2095, con alarma de alto contenido de ácido sulfhídrico en el domo de la DA-2002. 6. Línea de reposición de amina pobre con la GA-2006.	1. Continuar con el programa de reparación general de plantas.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 10 y 11-julio-2003</b>		
	<b>Nodo 4: TORRE ABSORBEDORA DA-2002</b>					
<b>Desviación 2: ALTO NIVEL</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla de la bomba GA-2002 A o GA-2002 B.	1. Pérdida de presión diferencial. 2. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 3. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre. 4. Contaminación ambiental.	3	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Bomba de relevo GA-2002/B. 3. Indicador de presión diferencial PDI-2092. 4. Analizador de vapores AT-2095, con alarma de alto contenido de ácido sulfhídrico en el domo de la DA-2002. 5. Programa de rotación de equipo dinámico.	1. Continuar con el programa de rotación de equipo dinámico.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 10 y 11-julio-2003</b>		
	<b>Nodo 4: TORRE ABSORBEDORA DA-2002</b>					
<b>Desviación 3: ALTA TEMPERATURA</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Pérdida de flujo de la recirculación de la torre de apagado DA-2001.	<ol style="list-style-type: none"> <li>Incremento de la temperatura de los gases de salida de la torre de apagado.</li> <li>Degradación de la amina por arrastre de humedad de la torre absorbedora DA-2001.</li> <li>Disminución de la absorción del CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.</li> <li>Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre.</li> </ol>	3	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>Directo de la FV-2084.</li> <li>Bomba de relevo GA-2001 A/B.</li> <li>Indicador de presión diferencial PDI-2059.</li> <li>Indicador de temperatura TI-2072 en el domo de DA-2001.</li> <li>Filtro de relevo FG-2001 A/B.</li> <li>Analizador de vapores AT-2095, en el domo de la DA-2002.</li> <li>Indicador TI-2094 en el domo de la DA-2002.</li> </ol>	1. No hay.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>	<b>FECHA: 10 y 11-julio- 2003</b>
	<b>Nodo 4: TORRE ABSORBEDORA DA-2002</b>		

**Desviación 4: CONCENTRACIÓN DE AMINA MENOR A 35% EN PESO**

Causas:	Consecuencias:	F	G	Protecciones	Recomendaciones	Clase
Arrastre de humedad de la torre de apagado DA-2001.	1. Degradación de la amina. 2. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 3. Disminución en la recuperación de azufre. 4. Envío de gas ácido al incinerador. 5. Contaminación ambiental.	3	4	1. Capacitación al personal operativo. 2. Manuales de operación. 3. Analizador AT-2095, de vapores al incinerador CF-1404, con alarma por alto contenido de ácido sulfhídrico. 4. Análisis de laboratorio.	1. No hay.	D
Preparación inadecuada de la solución de amina.	1. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 2. Disminución en la recuperación de azufre. 3. Envío de vapores de proceso al incinerador fuera de especificación.	3	4	1. Capacitación al personal operativo. 2. Manuales de operación. 3. Analizador AT-2095, de vapores al incinerador CF-1404, con alarma por alto contenido de ácido sulfhídrico. 4. Análisis de laboratorio.	1. No hay.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPañÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 11 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 5: DE LA SUCCIÓN DE LA BOMBA GA-2002 A/B, AL FILTRO FG-2002, AL FILTRO FG-2003, AL FILTRO FG-2004, INTERCAMBIADOR EA-2001A/B</b>					
<b>Desviación 1: BAJO FLUJO EN LA SUCCION DE LA GA-2002 A/B</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Taponamiento de la coladera o strainer en la succión de la bomba.	1. Pérdida de flujo en la succión. 2. Cavitación de la bomba. 3. Daños al sello mecánico. 4. Fugas de amina rica. 5. Exposición del personal a concentraciones mayores de 10 ppm de H <sub>2</sub> S. 6. Contaminación ambiental. 7. Alto nivel en la torre DA-2002.	3	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Bomba de relevo GA-2002 B. 3. Indicador PI-2100, PI-2103 y PI-2104 en la descarga de las bombas. 4. PDIC-2108. 5. FIC-2113.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a equipo dinámico.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 11 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 5: DE LA SUCCIÓN DE LA BOMBA GA-2002 A/B, AL FILTRO FG-2002, AL FILTRO FG-2003, AL FILTRO FG-2004, INTERCAMBIADOR EA-2001A/B</b>					
<b>Desviación 2: ALTA PRESION EN LA DESCARGA DE LA GA-2002 A/B</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Obstrucción del filtro FG-2002 y/o FG-2003 y/o FG-2004.	1. Calentamiento del motor por sobrecarga. 2. Disparo del motor. 3. Alto nivel en el fondo de la torre DA-2002. 4. Bajo flujo en la succión de las bombas GA-2003 A/B. 5. Bajo flujo de alimentación y bajo nivel en la torre absorbidora DA-2003. 6. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 7. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre. 8. Contaminación ambiental.	2	4	1. PI-2100, PI-2103, PI-2104 en la descarga. 2. PDIC-2108. 3. FIC-2113. 4. FIC-2115. 5. TI-2116. 6. LAH-2097.	1. Continuar con el programa de limpieza a filtros FG-2002, FG-2003 y FG-2004 en cada reparación general.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 11 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 5: DE LA SUCCIÓN DE LA BOMBA GA-2002 A/B, AL FILTRO FG-2002, AL FILTRO FG-2003, AL FILTRO FG-2004, INTERCAMBIADOR EA-2001A/B</b>					
<b>Desviación 2: ALTA PRESIÓN EN LA DESCARGA DE LA GA-2002 A/B</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Obstrucción del intercambiador amina pobre/amina rica EA-2001 A/B.	1. Calentamiento del motor de las bombas GA-2002 A/B por sobre amperaje. 2. Disparo del motor. 3. Alto nivel en el fondo de la torre DA-2002. 4. Bajo flujo en la succión de las bombas GA-2003 A/B. 5. Bajo flujo de alimentación y bajo nivel en la torre absorbidora DA-2003. 6. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 7. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre. 8. Contaminación ambiental.	2	4	1. Programa de mantenimiento a plantas. 2. Protección por sobre corriente de motores de bombas. 3. Alarma de alto nivel LIC-2097. 4. FI-2115. 5. TI-2116 y TI-2118. 6. PSV-2107, PSV-2109 y PSV-2111 7. PI-2100, PI-2103 y PI-2104 en la descarga de las bombas GA-2002 A/B. 8. Alarma por alta presión diferencial PDAH-2108 y PDAH-2114. 9. By-pass del cambiador EA-2001 A/B.	1. No hay.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 11 de julio de 2003.</b>		
	<b>Nodo 5: DE LA SUCCIÓN DE LA BOMBA GA-2002 A/B, AL FILTRO FG-2002, AL FILTRO FG-2003, AL FILTRO FG-2004, INTERCAMBIADOR EA-2001A/B</b>					
<b>Desviación 2: ALTA PRESIÓN EN LA DESCARGA DE LA GA-2002 A/B</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla en cerrado la válvula LV-2097.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Calentamiento del motor de las bombas GA-2002 A/B por sobre amperaje.</li> <li>2. Disparo del motor.</li> <li>3. Alto nivel en el fondo de la torre DA-2002.</li> <li>4. Bajo flujo en la succión de las bombas GA-2003 A/B.</li> <li>5. Bajo flujo de alimentación y bajo nivel en la torre absorbidora DA-2003.</li> <li>6. Disminución de la absorción del CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S.</li> <li>7. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre.</li> <li>8. Contaminación ambiental.</li> </ol>	2	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Directo de la válvula LV-2097.</li> <li>2. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.</li> <li>3. Protección por sobre corriente de motores de bombas.</li> <li>4. Alarma de alto nivel LIC-2097.</li> <li>5. FI-2115.</li> <li>6. TI-2116 y TI-2118.</li> <li>7. PSV-2107, PSV-2109 y PSV-2111</li> <li>8. PI-2100, PI-2103 y PI-2104 en la descarga de las bombas GA-2002 A/B.</li> <li>9. Alarma por alta presión diferencial PDAH-2108 y PDAH-2114.</li> </ol>	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D





**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 15 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 6: DE LA SUCCIÓN DE LA BOMBA GA-2003A/B, AL ENFRIADOR EC-2002, AL ENFRIADOR EA-2003 Y A LA TORRE DA-2002</b>					
<b>Desviación 1: MENOS FLUJO EN LA SUCCIÓN DE LA GA-2003A/B</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Taponamiento de la coladera o strainer en la succión de la bomba.	1. Pérdida de flujo en la succión. 2. Cavitación de la bomba. 3. Daños al sello mecánico. 4. Fugas de amina pobre. 5. Alto nivel en la torre DA-2003.	2	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Bomba de relevo GA-2003 B. 3. Indicador PI-2126, PI-2129 y PI-2130 en la descarga de las bombas. 4. Alarma de alto nivel LAH-2133 en la torre DA-2003.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 15 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 6: DE LA SUCCIÓN DE LA BOMBA GA-2003A/B, AL ENFRIADOR EC-2002, AL ENFRIADOR EA-2003 Y A LA TORRE DA-2002</b>					
<b>Desviación 2: ALTA PRESIÓN EN LA DESCARGA</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla del controlador FIC-2105 y cierra la válvula FV-2105	1. Calentamiento del motor por sobrecarga. 2. Disparo del motor. 3. Alto nivel en el fondo de la torre DA-2003. 4. Bajo flujo de alimentación y bajo nivel en la torre absorbedora DA-2002. 5. Disminución de la absorción del CO <sub>2</sub> y H <sub>2</sub> S. 6. Disminución en la recuperación de azufre en las plantas recuperadoras de azufre. 7. Contaminación ambiental.	2	4	1. Programa preventivo de mantenimiento a instrumentos. 2 Directo de la válvula FV-2105. 3. Protección termo magnética del motor eléctrico. 4. Alarma por alto nivel LAH-2132 en la torre DA-2003. 5. Analizador AT-2095 en el domo de la torre DA-2002 con alarma por alta concentración de H <sub>2</sub> S.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>	<b>FECHA: 15 y 16 de julio de 2003</b>
	<b>Nodo 7: TORRE AGOTADORA DA-2003</b>		

**Desviación 1: BAJO NIVEL**

Causas:	Consecuencias:	F	G	Protecciones	Recomendaciones	Clase
Falla en cerrado la LV-2097	1. Baja la desorción de gas ácido 2. Bajo flujo a la succión de la GA-2003. 3. Cavitación y daños al sello mecánico. 4. Fuga de amina pobre.	3	4	1. Directo de la válvula LV-2097. 2. Indicador de nivel LI-2132 con alarma por bajo nivel. 3. Indicador de nivel visual LG-2131. 4. Simulacros operacionales. 5. Recorridos operacionales en campo.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D

	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>	<b>FECHA: 15 y 16 de julio de 2003</b>
	<b>Nodo 7: TORRE AGOTADORA DA-2003</b>		

**Desviación 2: ALTO NIVEL**

Causas:	Consecuencias:	F	G	Protecciones	Recomendaciones	Clase
Falla de las bombas GA-2003.	1. Aumento de la presión diferencial de la torre DA-2003.	3	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico. 2. Bomba de relevo. 3. Alarma por alto nivel LAH-2132. 4. Indicador de presión diferencial PDI-2133 con alarma por alta.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANIA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>		<b>FECHA: 16 de julio de 2003</b>		
	<b>Nodo 8: TANQUE ACUMULADOR DEL AGOTADOR FA-2002</b>					
<b>Desviación 1: BAJO NIVEL</b>						
<b>Causas:</b>	<b>Consecuencias:</b>	<b>F</b>	<b>G</b>	<b>Protecciones</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Clase</b>
Falla el controlador de nivel LIC-2154.	1. Baja la succión a la bomba GA-2004A/B. 2. Cavitación y daños al sello mecánico. 3. Fugas de amina rica. 4. Exposición al personal a altas concentraciones de ácido sulfhídrico. 5. Contaminación ambiental.	3	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Alarma por bajo nivel LAL-2154.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D



**CAPÍTULO III  
RESULTADOS Y CONCLUSIONES**



	<b>COMPANÍA: PEMEX REFINACIÓN</b>	<b>ÁREA / PROCESO: UTGC</b>	<b>FECHA: 16 de julio de 2003</b>
	<b>Nodo 8: TANQUE ACUMULADOR DEL AGOTADOR FA-2002</b>		

**Desviación 2: ALTO NIVEL**

Causas:	Consecuencias:	F	G	Protecciones	Recomendaciones	Clase
Falla de la bomba GA-2004A o GA-2004B.	1. Presionamiento del acumulador FA-2002. 2. Arrastre de humedad a la planta recuperadora de azufre No. 1. 3. Se suspende el reflujo a la torre agotadora DA-2003. 4. Calentamiento en el domo de la torre agotadora DA-2003.	3	4	1. Control de presión PIC-2164 con alarma por alta PAH-2164. 2. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 3. Bomba de relevo. 4. Alarma por bajo flujo FAL-2162 en la línea de reflujo de la torre DA-2003.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.	D
Falla el controlador de nivel LIC-2154.	1. Presionamiento del acumulador FA-2002. 2. Arrastre de humedad a la planta recuperadora de azufre No. 1. 3. Se suspende el reflujo a la torre agotadora DA-2003. 4. Calentamiento en el domo de la torre agotadora DA-2003. 5. Presionamiento en la descarga de la bomba GA-2004. 6. Daños al sello mecánico y fugas de amina rica. 7. Exposición al personal a altas concentraciones de ácido sulfhídrico. 8. Contaminación ambiental.	2	4	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Alarma por bajo flujo FAL-2162 en la línea de reflujo a la torre DA-2003. 3. Control de presión PIC-2164 con alarma por alta PAH-2164.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	D



### 3.2. RESULTADOS Y CONCLUSIONES PARA EL ESTUDIO HAZOP.

En este estudio HAZOP se obtuvieron 29 escenarios todos con una clase D, esto significa que tienen baja prioridad, es decir que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad pero que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente.

En la tabla 21 se muestra una lista jerárquica de recomendaciones.

TABLA 21. LISTA JERARQUICA DE RECOMENDACIONES.

CLASE	ESC.	NODO	DESVIACIÓN	CAUSA	RECOMENDACIÓN
D	1	1. Calentador de carga FA-2001.	1. Baja temperatura	1. Falla en cerrado de la válvula TV-2003 de alimentación de gas combustible.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	2	1. Calentador de carga FA-2001.	1. Baja temperatura	2. Falla en cerrado de la válvula FV-2001 de alimentación de aire de combustión.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	3	1. Calentador de carga FA-2001.	1. Baja temperatura	3. Falla de sopladores de aire de combustión BV-1801 o BV-1802.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo mecánico a sopladores.
D	4	2. Reactor catalítico DC-2001.	1. No hay reacción.	1. Falla en cerrado de la válvula FV-2040 de alimentación de hidrógeno.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	5	2. Reactor catalítico DC-2001.	1. No hay reacción.	2. Baja temperatura por falla del calentador de alimentación.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	6	2. Reactor catalítico DC-2001.	2. Alta temperatura	1. Exceso de aire para el quemado de gas natural.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	7	2. Reactor catalítico DC-2001.	3. Baja temperatura	1. Bajo flujo de hidrógeno.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	8	2. Reactor catalítico DC-2001.	4. Alta presión diferencial	1. Obstrucción de la cama catalítica por depósito de azufre.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.



### CAPÍTULO III RESULTADOS Y CONCLUSIONES



TABLA 21 CONTINUACIÓN.

CLASE	ESC.	NODO	DESVIACION	CAUSA	RECOMENDACION
D	9	3. Torre de apagado DA-2001.	1. Bajo nivel	1. Falla del controlador de nivel LIC-2061 por falta de señal al transmisor.	1. Continuar con el programa preventivo a instrumentos.
D	10	3. Torre de apagado DA-2001.	2. Alta temperatura	1. Disminución o pérdida de la recirculación de agua.	1. No hay.
D	11	3. Torre de apagado DA-2001.	3. Alta presión	1. No hay	1. No hay
D	12	3. Torre de apagado DA-2001.	4. pH bajo	1. Descontrol en la planta de azufre, alta relación aire/gas ácido que produce alta concentración de SO <sub>2</sub> .	1. Continuar con el seguimiento al control de corrosión interna de la torre de apagado DA-2001 y sus equipos y líneas periféricos. 2. Continuar con el seguimiento al mantenimiento del pHmetro AT-2076 y contar con las refacciones mínimas recomendadas por el fabricante. 3. Continuar con el seguimiento al programa de mantenimiento a detectores de toxicidad.
D	13	4. Torre absorbedora DA-2002.	1. Bajo nivel	1. Falla del controlador FIC-2105.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	14	4. Torre absorbedora DA-2002.	1. Bajo nivel	2. Taponamiento de los intercambiadores de amina pobre/amina rica EA-2001 A o B.	1. Continuar con el programa de reparación general de plantas.
D	15	4. Torre absorbedora DA-2002.	2. Alto nivel	1. Falla de la bomba GA-2002 A o GA-2002 B.	1. Continuar con el programa de rotación de equipo dinámico.
D	16	4. Torre absorbedora DA-2002.	3. Alta temperatura	1. Pérdida de flujo de la recirculación de la torre de apagado DA-2001.	1. No hay.



### CAPÍTULO III RESULTADOS Y CONCLUSIONES



TABLA 21 CONTINUACIÓN.

CLASE	ESC.	NODO	DESVIACION	CAUSA	RECOMENDACION
D	17	4. Torre absorbedora DA-2002.	4. Concentración de amina menor a 35% en peso	1. Arrastre de humedad de la torre de apagado DA-2001.	1. No hay
D	18	4. Torre absorbedora DA-2002.	4. Concentración de amina menor a 35% en peso	2. Preparación inadecuada de la solución de amina.	1. No hay.
D	19	5. De la succión de la bomba GA-2002A/B, al filtro FG-2002, al filtro FG-2003, al filtro FG-2004, intercambiador EA-2001A/B.	1. Bajo flujo en la succión de la GA-2002 A/B.	1. Taponamiento de la coladera o strainer en la succión de la bomba.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a equipo dinámico.
D	20	5. De la succión de la bomba GA-2002A/B, al filtro FG-2002, al filtro FG-2003, al filtro FG-2004, intercambiador EA-2001A/B.	2. Alta presión en la descarga de la GA-2002 A/B.	1. Obstrucción del filtro FG-2002 y/o FG-2003 y/o FG-2004.	1. Continuar con el programa de limpieza a filtros FG-2002, FG-2003 y FG-2004 en cada reparación general .
D	21	5. De la succión de la bomba GA-2002A/B, al filtro FG-2002, al filtro FG-2003, al filtro FG-2004, intercambiador EA-2001A/B.	2. Alta presión en la descarga de la GA-2002 A/B.	2. Obstrucción del intercambiador amina pobre/amina rica EA-2001 A/B.	1. No hay.
D	22	5. De la succión de la bomba GA-2002A/B, al filtro FG-2002, al filtro FG-2003, al filtro FG-2004, intercambiador EA-2001A/B.	2. Alta presión en la descarga de la GA-2002 A/B.	3. Falla en cerrado la válvula LV-2097.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	23	6. De la succión de la bomba GA-2003A/B, al enfriador EC-2002, al enfriador EA-2003 y a la torre DA-2002.	1. Menos flujo en la succión de la GA-2003A/B	1. Taponamiento de la coladera o strainer en la succión de la bomba.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.
D	24	6. De la succión de la bomba GA-2003A/B, al enfriador EC-2002, al enfriador EA-2003 y a la torre DA-2002.	2. Alta presión en la descarga	1. Falla del controlador FIC-2105 y cierra la válvula FV-2105	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	25	7. Torre agotadora DA-2003	1. Bajo nivel	1. Falla en cerrado la LV-2097	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.





**TABLA 21 CONTINUACIÓN.**

<b>CLASE</b>	<b>ESC.</b>	<b>NODO</b>	<b>DESVIACION</b>	<b>CAUSA</b>	<b>RECOMENDACION</b>
D	26	7. Torre agotadora DA-2003	2. Alto nivel	1. Falla de las bombas GA-2003.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.
D	27	8. Tanque acumulador del agotador FA-2002.	1. Bajo nivel	1. Falla el controlador de nivel LIC-2154.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.
D	28	8. Tanque acumulador del agotador FA-2002.	2. Alto nivel	1. Falla de la bomba GA-2004A o GA-2004B.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a equipo dinámico.
D	29	8. Tanque acumulador del agotador FA-2002.	2. Alto nivel	2. Falla el controlador de nivel LIC-2154.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.

### **3.2.1. REGISTRO DE RECOMENDACIONES DE ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA PLANTA TRATADORA DE GAS DE COLA (UTGC), DE LA PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE No. 1.**

Del análisis de la Unidad Tratadora de Gas de Cola (UTGC) de la Planta de Azufre No. 1, se obtiene solo una lista de buenas prácticas mismas que ya se realizan en la planta y se recomienda la continuación de su aplicación para el funcionamiento seguro de las instalaciones.

En la tabla 22 podemos observar esta lista de buenas prácticas.



TABLA 22. LISTA DE BUENAS PRÁCTICAS.

No	Escenario Núm.	Síntesis Descriptiva	Frecuencia	Gravedad				Grado de Riesgo
				S.V.	INST.	M.AMB.	OP.	
1	1, 2	Continuar con el programa de mantenimiento preventivo instrumentos.	3	D	D	D	D	D
2	3	Continuar con el programa de mantenimiento preventivo mecánico a sopladores.	3	D	D	D	D	D
3	12	Continuar con el seguimiento al control de corrosión interna de la torre de apagado DA-2001 y sus equipos y líneas periféricos.	3	D	D	D	D	D
4	12	Continuar con el seguimiento al mantenimiento del pHmetro AT-2078 y contar con las refacciones mínimas recomendadas por el fabricante.	3	D	D	D	D	D



TABLA 22 CONTINUACIÓN.

No	Escenario Núm.	Síntesis Descriptiva	Frecuencia	Gravedad				Grado de Riesgo
				S.V.	INST.	M.AMB.	OP.	
5	12	Continuar con el seguimiento al programa de mantenimiento a detectores de toxicidad.	3	D	D	D	D	D
6	15	Continuar con el programa de rotación de equipo dinámico.	3	D	D	D	D	D
7	19	Continuar con el programa de mantenimiento a equipo dinámico.	3	D	D	D	D	D
8	20	Continuar con el programa de limpieza a filtros FG-2002, FG-2003 y FG-2004 en cada reparación general.	2	D	D	D	D	D



### 3.2.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO HAZOP.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede decir que los riesgos en la TGTU, están controlados por el seguimiento a los programas de mantenimiento, rutinas operacionales, inspecciones de seguridad y capacitación del personal operativo, ya que se obtuvieron 29 recomendaciones de clase D, que corresponden a una clase de riesgos aceptable.

Así los peligros que pudiesen presentarse en dicha unidad pueden ser controlados. Sin embargo es indispensable mejorar continuamente la seguridad.

De manera complementaria el análisis HAZOP promueve que el personal de operación y administrativo de la UTGC actúe con plena conciencia de los riesgos y peligros implícitos en la operación, con el fin de fomentar una cultura de seguridad en los procesos y laboral.

El uso del análisis HAZOP es reconocer que los accidentes son resultado de una cadena lógica de causas y circunstancias que pueden evitarse o cuando menos puede reducir su gravedad. Después de la realización de dicho estudio se obtuvieron una serie de recomendaciones producto de la experiencia del equipo multidisciplinario de profesionistas que lo llevaron a cabo y es de esperarse que los problemas aquí identificados en la operación y el control de la unidad pueden ser tratados racionalmente. Es cierto que las bondades del análisis HAZOP son muchas, pero también los resultados sólo serán satisfactorios en medida que el cumplimiento de estas recomendaciones sea efectivo.

En este análisis se identificaron:

- ⇒ Las posibles causas de un evento.
- ⇒ Consecuencias del evento.
- ⇒ Medidas de seguridad.
- ⇒ Evaluación de la aceptabilidad del riesgo asignado al peligro identificado.
- ⇒ Se propusieron las medidas correctoras necesarias.

El resultado principal del análisis HAZOP fue encontrar un conjunto de situaciones peligrosas y problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción del riesgo existente o a la mitigación de las consecuencias de los problemas operativos.



### 3.3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES PARA EL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS.

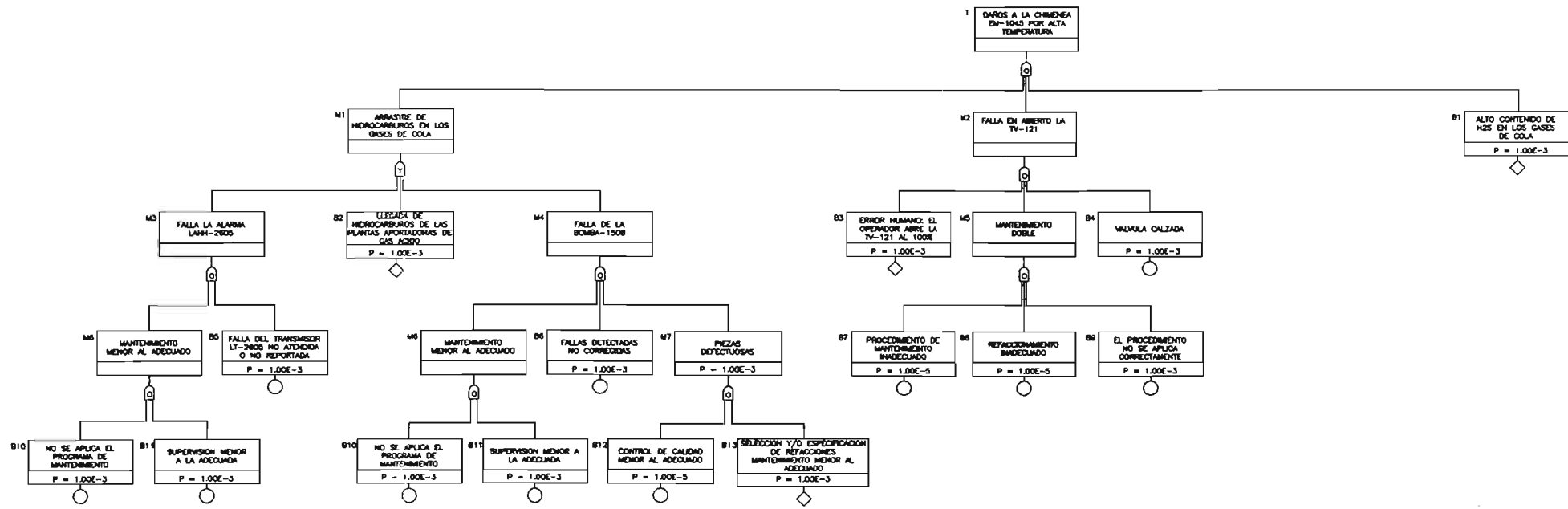
#### 3.3.1. DIAGRAMAS DE ÁRBOL DE FALLAS.

Primero se construye el árbol de fallas considerando todas las posibles causas que pudieran llevar al evento culminante, después del tratamiento mediante conjuntos mínimos se construye el árbol de fallas reducido, y éste es equivalente matemáticamente al primero solo que en éste se han eliminado las causas de falla común. La tabla siguiente muestra los diagramas representativos de cada uno de los árboles de fallas descritos anteriormente.

TABLA 23. RELACIÓN DE DIAGRAMAS DE ÁRBOL DE FALLAS.

DIAG. NUM.	NOMBRE
FQ-364-AZF1-FTA-02	Análisis de árbol de fallas de los daños a la chimenea EM-1045 por alta temperatura.
TGTU-FTA-1/2 TGTU-FTA-2/2	Análisis de árbol de fallas de baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001.

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
DAÑOS A LA CHIMNEA EM-1405 POR ALTA TEMPERATURA	0.03 (3 VECES CADA 100 AÑOS)	$2.99E-3$ (0.002 FALLAS/AÑO)

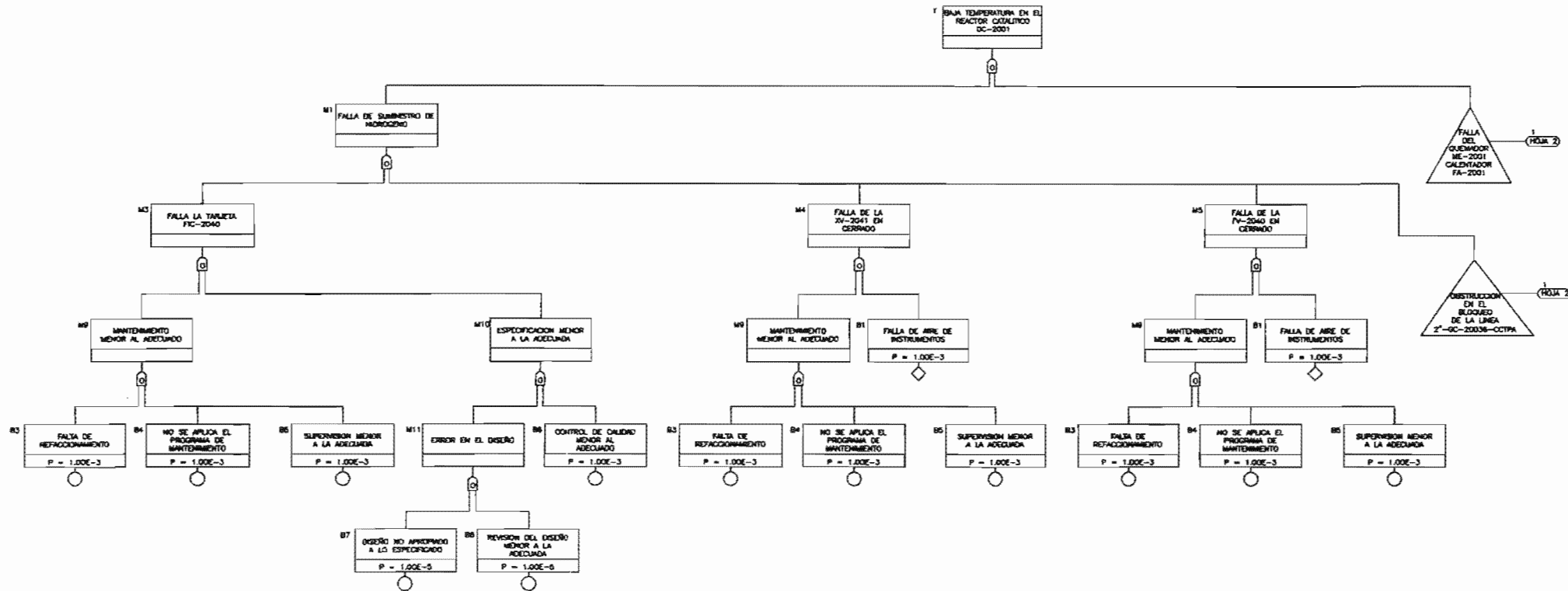


**PROYECTO:** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE QUÍMICA  
 CONJUNTO E. LAB. 212

**TÍTULO DEL DISEÑO:**  
 PLANTA RECUPERADORA DE AZUFRE No.1  
 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS  
 DAÑOS A LA CHIMNEA EM-1405  
 POR ALTA TEMPERATURA

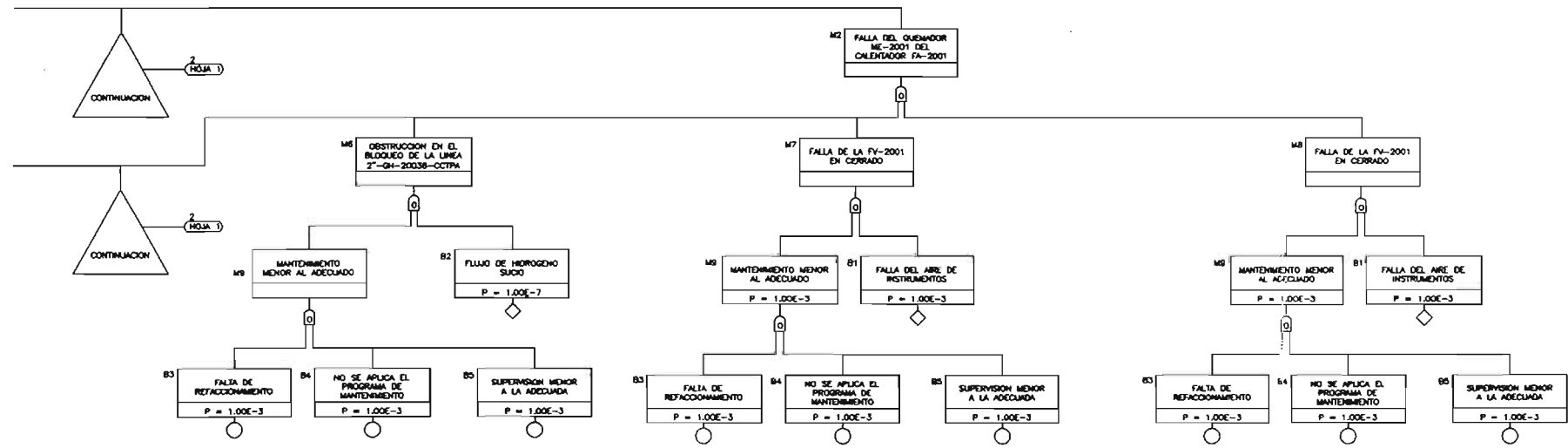
**FECHA DE PROYECTO:** FO-364/2003      **FECHA DE DISEÑO:** FO364-AZF1-FTA-02  
**HOJA 6 DE 6:**      **HOJA DE HOJAS:** 30-NOV-03      **HOJAS:** 1  
**SECTOR:** 10

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001	0.0050201	0.0050 FALLAS/AÑO



PREPARADOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE QUÍMICA  
 CONJUNTO E, LAB. 212  
 TÍTULO DEL DEBATE: PLANTA UNIDAD TRATADORA DE GAS DE COLA  
 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS  
 BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001  
 NOMBRE DEL PROMOTOR: TGU-FTA-1/2  
 FECHA O EDICIÓN: 30-NOV-03  
 PÁGINA O SECCIÓN: SECTOR 10  
 PÁGINA DE REVISIÓN: 1

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CLIMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALITICO DC-2001	0.0050201	0.0050 FALLAS/ARO



PROYECTOR: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE QUÍMICA  
 CONSULTO E, LAB. 212  
 TÍTULO DEL DIBUJO: PLANTA UNIDAD TRATADORA DE GAS DE COLA  
 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS  
 BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALITICO DC-2001  
 NÚMERO DE PROYECTO: IGTU-FTA-2/2  
 ÁREA O SECTOR: SECTOR 10  
 FECHA DE REVISIÓN: 30-NOV-03  
 REVISOR: 1





### 3.3.2. CÁLCULO DEL ÁRBOL DE FALLAS, CON LA TÉCNICA DE CONJUNTOS MÍNIMOS.

#### 3.3.2.1. ÁRBOL DE FALLAS PARA LOS "DAÑOS A LA CHIMENEA EM-1045 POR ALTA TEMPERATURA".

En esta sección se describen los pasos del desarrollo del árbol de fallas mediante la formación de conjuntos de separación, para finalmente llegar a la formación de conjuntos mínimos.

**TABLA 24. EXPRESIÓN BOOLEANA PARA EL ESCENARIO DE DAÑOS A LA CHIMENEA EM-1045 POR ALTA TEMPERATURA.**

NIVEL	EXPRESIÓN BOOLEANA
1	$T=M1+M2+B1$
2	$T=M3*B2*M4+B3+M5+B4+B1$
3	$T=(M6+B5)*B2*(M6+B6+M7)+B3+B8+B9+B10+B4+B$
4	$T=(B11+B12+B5)*B2*(B11+B12+B6+B13+B14)$

La ecuación del nivel cuatro se desarrolla, y se obtiene:

$$T=B1 + B3 + B4 + B6 + B9 + B10 + B1*B2*B6 + B1*B2*B11 + B1*B2*B12 + B1*B2*B13 + B1*B2*B14 + B2*B5*B6 + B2*B5*B11 + B2*B5*B12 + B2*B5*B13 + B2*B5*B14 + B2*B6*B12 + B2*B12 + B2*B12*B13 + B2*B12*B14$$

Con esta ecuación se construyen el árbol de fallas reducido y se calcula la probabilidad del evento culminante con los conjuntos mínimos.



TABLA 25. EVENTOS BÁSICOS CON SUS PROBABILIDADES, DE LOS DAÑOS A LA CHIMENEA EM-1405 POR ALTA TEMPERATURA.

EVENTO BÁSICO	PROBABILIDAD
B1 - Alto contenido de ácido sulfhídrico en el gas de colas.	1.00E-03
B2 - Llegada de hidrocarburos líquidos de las plantas aportadoras de gas ácido.	1.00E-03
B3 - Error humano, el operador abre la TV-121 al 100%.	1.00E-03
B4 - Válvula calzada.	1.00E-03
B5 - Falla del LT-2605 no atendida o no reportada.	1.00E-03
B6 - Falla detectadas no corregidas.	1.00E-03
B7 - Piezas defectuosas.	1.00E-03
B8 - Procedimiento de mantenimiento inadecuado.	1.00E-05
B9 - Refaccionamiento inadecuado.	1.00E-05
B10 - El procedimiento no se aplica correctamente.	1.00E-03
B11 - No se aplica el programa de mantenimiento.	1.00E-03
B12 - Supervisión menor a la adecuada.	1.00E-03
B13 - Control de calidad menor al adecuado.	1.00E-05
B14 - Selección y/o especificación de refacciones menor al adecuado.	1.00E-03



TABLA 26. CÁLCULO DE CONJUNTOS MÍNIMOS Y PROBABILIDAD DE LOS DAÑOS A LA CHIMENEA EM-1406 POR ALTA TEMPERATURA.

CONJUNTO MÍNIMO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL CONJUNTO	PORCENTAJE DE OCURRENCIA
		(%)
C1=B1	1.00E-03	24.88
C2=B3	1.00E-03	24.88
C3=B4	1.00E-03	24.88
C4=B8	1.00E-05	0.25
C5=B9	1.00E-05	0.25
C6= B10	1.00E-03	24.88
C7=B1*B2*B6	1.00E-09	2.488E-05
C8=B1*B2*B11	1.00E-09	2.488E-05
C9=B1*B2*B12	1.00E-09	2.488E-05
C10=B1*B2*B13	1.00E-11	2.488E-07
C11=B1*B2*B14	1.00E-09	2.488E-05
C12=B2*B5*B6	1.00E-09	2.488E-05
C13=B2*B5*B11	1.00E-09	2.488E-05
C14=B2*B5*B12	1.00E-09	2.488E-05
C15=B2*B5*13	1.00E-11	2.488E-07
C16=B2*B5*B14	1.00E-09	2.488E-05
C17=B2*B6*B12	1.00E-09	2.488E-05
C18=B2*B12*B11	1.00E-09	2.488E-05
C19=B2*B12	1.00E-06	2.488E-02
C20=B2*B12*B13	1.00E-11	2.488E-07
C21=B2*B12*B14	1.00E-09	2.488E-05
<b>PROBABILIDAD</b>	<b>4.02E-03</b>	<b>100.00</b>

**NOTA:** Estos datos se obtienen realizando las operaciones de los conjuntos mínimos con ayuda de la tabla 25.



**3.3.2.2 ÁRBOL DE FALLAS PARA LA BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001.**

En esta sección se describen los pasos del desarrollo del árbol de fallas mediante la formación de conjuntos de separación, para finalmente llegar a la formación de conjuntos mínimos.

TABLA 27. EXPRESIÓN BOOLEANA PARA EL ESCENARIO BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001.

NIVEL	EXPRESIÓN BOOLEANA
1	$T = M1+M2$
2	$T = M3+M4+M5+M6+M7+M8$
3	$T = M9+M10+B1+B2$
4	$T = B3+B4+B5+M11+B6$
5	$T = B7+B8$
	<p>La ecuación representativa para el árbol de fallos es la siguiente:</p> $T = B3+B4+B5+B7+B8+B6+B3+B4+B5+B1+B3+B4+B5+B1+B3+B4+B5+B2+B3+B4+ B5+ B1+B3+B4+B5+B1$ $T= B1+B2+B3+B4+B5+B6+B7+B8$

Desarrollando la última ecuación se tienen los conjuntos mínimos, mostrados en la tabla 28. Los eventos básicos considerados en el árbol de fallas, para alcanzar el evento culminante se describen en la tabla 28.



**TABLA 28. EVENTOS BÁSICOS CON SUS PROBABILIDADES DEL ÁRBOL DE FALLAS PARA LA BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001.**

EVENTO BÁSICO	PROBABILIDAD
B1 = Falla del aire de instrumentos.	1E-03
B2 = Flujo de hidrógeno sucio.	1E-07
B3 = Falta de refaccionamiento.	1E-03
B4 = No se aplica el programa de mantenimiento.	1E-03
B5 = Supervisión menor a la adecuada.	1E-03
B6 = Control de calida menor al adecuado.	1E-03
B7 = Diseño no apropiado a lo especificado.	1E-05
B8 = Revisión del diseño menor al adecuado.	1E-05

**TABLA 29. CÁLCULO DE CONJUNTOS MÍNIMOS Y PROBABILIDAD PARA LA BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001.**

CONJUNTO MÍNIMO	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL CONJUNTO	PORCENTAJE DE OCURRENCIA
		(%)
C1=B1	1E-03	19.92
C2=B2	1E-07	0.0020
C3=B3	1E-03	19.92
C4=B4	1E-03	19.92
C5=B5	1E-03	19.92
C6=B6	1E-03	19.92
C7=B7	1E-05	0.20
C8=B8	1E-05	0.20
<b>PROBABILIDAD</b>	<b>0.0050201</b>	<b>100.00</b>

**NOTA:** Estos datos se obtienen realizando las operaciones de los conjuntos mínimos con ayuda de la tabla 28.



### 3.3.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.

La aplicación del árbol de fallas en equipos problemáticos para el proceso es una forma efectiva de desglosar todas las causas que pueden estar dando origen a la falla analizada, ayudándonos a identificar el o los problemas de forma organizada que pueden estar relacionados con el equipo o unidad de proceso a la que se le este aplicando la técnica. Sin duda el realizar un árbol de fallas para los eventos desarrollados anteriormente es de vital importancia puesto que estos equipos mencionados en dichos eventos son de suma importancia para el proceso, por ejemplo la chimenea por ser el último equipo de proceso de la Planta Recuperadora de Azufre y por ser aquí de donde sale el gas de cola para ser posteriormente tratado, se considera este equipo como importante ya que si fallara este o algún otro equipo de dicha planta sería difícil que la UTGC funcionara adecuadamente.

Los resultados y recomendaciones para el árbol de fallas de **los daños a la chimenea EM-1045 por alta temperatura**, se muestran en la tabla 30. Se tiene una probabilidad  $4.02 \times 10^{-3}$  y una frecuencia de  $4.011 \times 10^{-3}$  al año. Si se expresa la probabilidad de este evento en por ciento, se tiene 0.40 % de probabilidad de ocurrencia de los daños a la **chimenea EM-1045 por alta temperatura**.



TABLA 30. RECOMENDACIONES PARA EL ESCENARIO DE LOS DAÑOS A LA CHIMENEA EM-1045.

ESCENARIO	PROBABILIDAD	RECOMENDACIÓN
1. Daños a la chimenea EM-1045 por alta temperatura.	$4.02 \times 10^{-3}$	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.</li><li>2. Continuar con la aplicación del procedimiento de instalación del concreto refractario en la chimenea EM-1045.</li><li>3. Continuar con los programas de capacitación y adiestramiento al personal operativo y de mantenimiento.</li></ol>
	FRECUENCIA $4.011 \times 10^{-3}$ fallas por año	

En la tabla 26, se muestran los resultados de las probabilidades para cada conjunto mínimo, en esta misma se tiene una columna que dice porcentaje de ocurrencia, se refiere a la contribución en por ciento de cada conjunto mínimo, en el desarrollo del evento culminante de daños a la chimenea EM-1045 por alta temperatura. Existen cuatro conjuntos mínimos que contribuyen considerablemente en el desarrollo del evento culminante y son: C1, C2, C3 y C6, cada uno con un 24.88% que combinados se tiene una contribución total 99.52%; los cuatro eventos básicos que forman estos conjuntos mínimos son: Alto contenido de ácido sulfhídrico en el gas de cola; Error humano; El operador abre la válvula TV-121, por quedarse calzada la válvula TV-121 y El procedimiento no se aplica correctamente. Para este caso el nivel de riesgo encontrado es poco probable y aceptable, sin embargo se hace énfasis en la capacitación, adiestramiento y evaluación del personal operativo; el riesgo se acepta tomando en cuenta las recomendaciones dadas en la tabla 30.

Los resultados y recomendaciones para el árbol de fallas de baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001, se muestran en la tabla 31. Se tiene una probabilidad  $5.0201 \times 10^{-3}$  y una frecuencia de  $5.0 \times 10^{-3}$  al año.



Si se expresa la probabilidad de este evento en por ciento, se tiene 0.50% de probabilidad de ocurrencia de baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001.

**TABLA 31. RECOMENDACIONES PARA EL ESCENARIO DE BAJA TEMPERATURA EN EL REACTOR CATALÍTICO DC-2001.**

ESCENARIO	PROBABILIDAD	RECOMENDACIÓN
1. Baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001	5.0201X10 <sup>-3</sup>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.</li> <li>2. Continuar con los programas de capacitación y adiestramiento al personal operativo y de mantenimiento.</li> <li>3. Continuar con el programa de mantenimiento del calentador de carga ME-2001.</li> </ol>
	<b>FRECUENCIA</b> 5.0x10 <sup>-3</sup> fallas por año	

En la tabla 28, se muestran los resultados de las probabilidades para cada conjunto mínimo, en esta misma se tiene una columna que dice porcentaje de ocurrencia, se refiere a la contribución en por ciento de cada conjunto mínimo, en el desarrollo del evento culminante de **baja temperatura en el reactor catalítico DC-2001**. Existen cinco conjuntos mínimos que contribuyen considerablemente en el desarrollo del evento culminante y son: C1, C3, C4, C5 y C6 cada uno con un 19.92% que combinados se tiene una contribución total 99%.

Los cinco eventos básicos que forman estos conjuntos mínimos son: *Falla del aire de instrumentos, Falta de refaccionamiento; No se aplica el programa de mantenimiento; Supervisión menor a la adecuada y Control de calida menor al adecuado.* Para este caso el nivel de riesgo encontrado es poco probable y aceptable, sin embargo se hace énfasis en la capacitación, adiestramiento y evaluación del personal operativo; el riesgo se acepta tomando en cuenta las recomendaciones dadas en la tabla 31.





### CAPÍTULO III RESULTADOS Y CONCLUSIONES



Es necesario destacar que el árbol de fallas aparte de ser un método cuantitativo, tiene vital importancia como método cualitativo ya que este arroja las causas por las que puede ocurrir el evento culminante y sirve como una guía para prevenir que ocurra el evento culminante dando la atención pertinente a estas fallas.



### 3.4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES PARA EL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

En la tabla 32 se muestran los resultados del cálculo de la descarga de H<sub>2</sub>S en la línea de salida del FA-2002.

TABLA 32. RESULTADOS DE LA DESCARGA DE H<sub>2</sub>S EN LÍNEA DE SALIDA DEL FA-2002.

Flujo de descarga	0.14 Kg./s
Duración de descarga	600 seg
Cantidad descargada	88.50 Kg
Velocidad en el orificio	281.65 m/s
Estado del material	Gas

Bajo las condiciones de operación del equipo y debido a la fuga se produce la típica descarga de chorro (jet), y si la descarga entra en ignición se produce el dardo de fuego (Jet fire).

En la tabla 33, se muestra un resumen de los resultados para el dardo de fuego.



TABLA 33. RIESGO POR DARDO DE FUEGO (JET FIRE).

Longitud de la flama	8.34 m
Emisividad de la flama	20.85kW/m <sup>2</sup>
Velocidad del dardo de fuego	281.65 m/s.
Exposición máxima	20 s

Los niveles de radiación generados se observan en la tabla 34.

TABLA 34. NIVELES DE RADIACIÓN TÉRMICA POR JET FIRE.

NIVEL DE RADIACIÓN	DISTANCIA (m)		
	CATEGORÍA F. 1.5 m/s	CATEGORÍA D. 1.5 m/s	CATEGORÍA F. 5.5 m/s
1.4 kW/m <sup>2</sup>	9.30	9.30	7.6
5 kW/m <sup>2</sup>	-----	-----	-----
37.5 kW/m <sup>2</sup>	-----	-----	-----

La representación gráfica de radiación térmica por el dardo de fuego (Jet Fire) de la fuga de gas ácido en la línea de salida del acumulador FA-2002 se tiene:

Debido a que la zona de alto riesgo por radiación térmica no alcanza a formarse por los niveles bajos de radiación emitidos, en la gráfica 1 se muestra la representación de la zona de amortiguamiento.

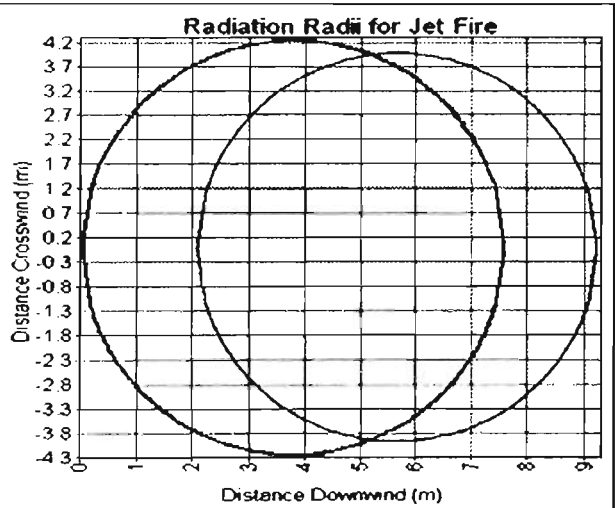


GRAFICA 1. RADIACIÓN TÉRMICA POR EL DARDO DE FUEGO (JET FIRE)

Study Folder: FQ3642003 Cade

Audit No: 3098  
Model: Fuga de H<sub>2</sub>S en  
FA-2002  
Material: HYDROGEN  
SULFIDE  
Radiation: 1.4 kW/m<sup>2</sup>  
Legend: Weathers

- Category 1 S/F
- Category 1 S/D
- Category 5/D



D= Estabilidad del clima.

De acuerdo a los niveles de radiación térmica resultantes del dardo de fuego (Jet Fire) para este escenario, no se alcanzan niveles para afectación de líneas o equipos; tampoco para el personal, ya que para la zona de alto riesgo (5 KW/m<sup>2</sup>) no se genera radiación suficiente para calentar el entorno, además que el punto de fuga se encuentra a 4 m. También se considera que no encontraría la fuga un punto caliente, sin embargo el modelo de radiación térmica considera que existe el riesgo de que se incendie el material fugado.

Debido a que se trata de un material altamente tóxico se calcula la probabilidad de muerte de acuerdo al orificio de fuga estimado obteniéndose los siguientes resultados.



**TABLA 35. PROBABILIDAD DE MUERTE POR FUGA DE H<sub>2</sub>S EN LA LÍNEA DE SALIDA DEL ACUMULADOR FA-2002.**

DISTANCIA (m)	PROBABILIDAD DE MUERTE POR FUGA DE H <sub>2</sub> S		
	CATEGORÍA F. 1.5 m/s	CATEGORÍA D. 1.5 m/s	CATEGORÍA F. 5.5 m/s
25	0.73	0.0	0.0
50	0.27	0.08	0.0
75	0.06	0.01	0.0
100	0.01	0.0	0.0

Debido a que la cantidad de material fugado es pequeña a velocidades del viento de 5.5 m/s, alcanza a dispersarse y no presenta riesgo por muerte. Solo a una velocidad del viento de 1.5 m/s se tiene la posibilidad de hasta un 73% en 25 m. (ver tabla 35).

**TABLA 36. ZONA DE ALTO RIESGO Y DE AMORTIGUAMIENTO POR FUGA DE H<sub>2</sub>S EN LA LÍNEA DE SALIDA DEL ACUMULADOR FA-2002.**

DISPERSIÓN DE H <sub>2</sub> S	DISTANCIA EN METROS		
	Categoría F. 1.5 m/s	Categoría D. 1.5 m/s	Categoría F. 5.5 m/s
	ZONA DE ALTO RIESGO		
IDLH (300 ppm) En 1800 seg.	79.76 m	54.70 m	No hay riesgo
	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO		
TLV <sub>15</sub> (15 ppm) En 900 seg.	1355.70 m	1355.70 m	500.50 m



Las zonas de alto riesgo y de amortiguamiento, para la categoría D (tabla 36) se trazan en un diagrama de localización de la refinería, ver el diagrama 27-30-0-0001, donde se observa que la zona de alto riesgo de intoxicación se limita a la planta UTGC de la planta de azufre 1

La zona de amortiguamiento formada por una concentración de 15 ppm de H<sub>2</sub>S, abarca hasta 1355 m y las plantas que son alcanzadas son: Área de tanques de almacenamiento de productos, Unidad 11, Unidad 12, Unidad 26, Área 58, Área 59, Unidad 1, Servicios Auxiliares 1, Planta de Tratamiento de Agua, Planta Potabilizadora de Agua, Planta de Coquizado, Planta de Alquilación No. 1 y la Planta Catalítica 1, para esta zona el tiempo máximo de exposición es de 15 minutos sin tener afectación alguna.

Si la fuga persiste durante una hora, se calculan las concentraciones y distancias para tres planes de respuesta a emergencia por fuga de ácido sulfhídrico mismos que son resumidos en la tabla 37.

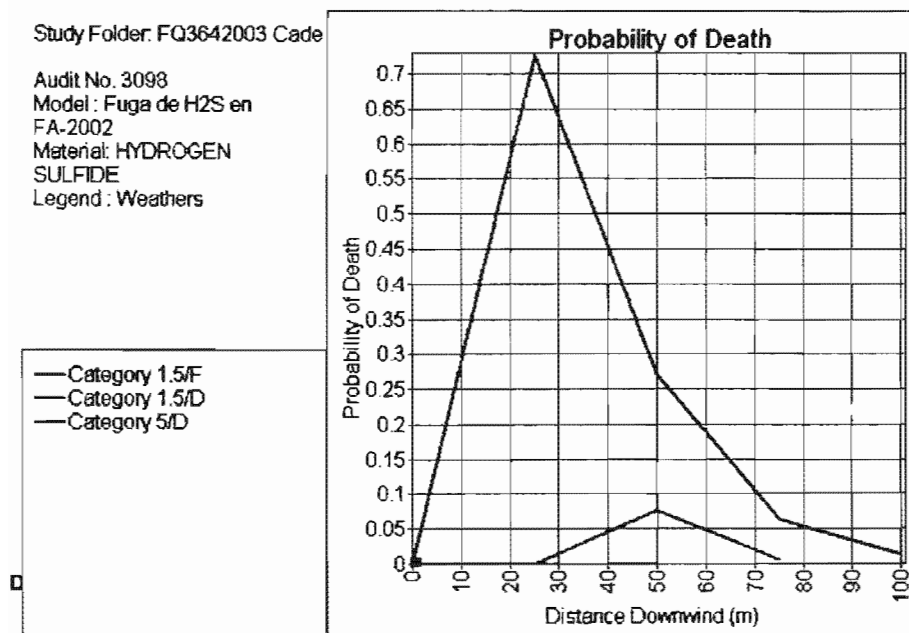
**TABLA 37. RESULTADOS DE CONCENTRACIÓN A DISTANCIAS PARA RESPUESTA A EMERGENCIAS.**

RESULTADOS PARA RESPUESTA A EMERGENCIAS				
CONCENTRACIÓN (ppm)	TIEMPO DE REFERENCIA (s)	DISTANCIA (m)		
		Categoría F. 1.5 m/s	Categoría D. 1.5 m/s	Categoría F. 5.5 m/s
Concentración de interés (300)	600	178.704	140.017	31.8098
ERPG 1 (0.1)	3600	21690.2	5588.03	7967.01
ERPG 2 (30)	3600	310.284	216.564	90.2578
ERPG 3 (100)	3600	162.55	126.643	27.7494



La representación gráfica para la probabilidad de muerte calculada a diferentes distancias se observa en la siguiente gráfica:

GRAFICA 2. PROPABILIDAD DE MUERTE.





### **DIAGRAMAS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS**

La tabla siguiente muestra el diagrama representativo del escenario estudiado con el análisis de consecuencias.

**TABLA 38. DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**

<b>DIAG. NUM.</b>	<b>NOMBRE</b>
AZF1-03	Fuga de gas ácido en la línea de salida del tanque acumulador FA-2002.







### 3.5. CONCLUSIONES GENERALES DEL PROYECTO.

Con la realización de este proyecto de tesis, se adquirieron conocimientos que no se tenían anteriormente, obteniendo así cierta experiencia para la realización de análisis de riesgos de procesos.

El desarrollo tecnológico experimentado por los países industrializados ha llevado consigo una notable mejora en el nivel de vida. Sin embargo, la proliferación de instalaciones industriales y el transporte de determinados materiales han implicado asimismo la aparición de nuevos riesgos, que pueden originar accidentes graves con un fuerte impacto sobre la población y sobre el entorno. Esta situación hace patente la necesidad de dedicar mayores esfuerzos a la reducción de estos riesgos a un nivel tolerable, compatible con los objetivos de desarrollo sostenible actualmente perseguidos.

Sólo aquello conocido puede ser controlado. En este proyecto se cumplió el objetivo de ser capaces de identificar las situaciones de peligro y analizar, evaluar el riesgo asociado. Éste fue el principal objetivo del proyecto.

El análisis de riesgos se ha introducido recientemente en determinados estudios universitarios como en la ingeniería química; al mismo tiempo, esta temática ha pasado a formar parte del conjunto de conocimientos que se supone que un profesional de los sectores relacionado debe de tener.

Este proyecto se realizó basándose en la experiencia del personal que labora en las instalaciones y en contacto con situaciones reales existentes en la industria; no fue pues, solo una recopilación bibliográfica. Creo que el resultado de dicho proyecto es una contribución importante que puede ser útil tanto a estudiantes como a profesionales de la industria.

El análisis de riesgos es un proceso para determinar las exposiciones y los posibles puntos débiles. Tiene como ventaja proporcionar un marco de referencia efectivo para asignar prioridades a los problemas, asignar recursos y reducir riesgos. Este uno de los principales objetivos llevados a cabo en esta tesis. Con este estudio los objetivos planteados al principio de esta tesis, se llevaron a cabo con satisfacción, ya que se logró identificar y evaluar los riesgos en la planta (TGTU) y se propusieron las medidas necesarias para una mayor seguridad de la misma. Esto se puede observar en los resultados expuestos anteriormente.

Al término del proyecto se observa que tan importante es mantener una buena seguridad en las industrias, ya que así se protege al personal e instalaciones, equipos, etc, llevando esto como consecuencia una mejor productividad para PEMEX.



## G L O S A R I O.

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

**Actividad Altamente Riesgosa.-** Son aquellas acciones, serie de pasos u operaciones comerciales y/o de fabricación industrial, distribución y ventas, en que se encuentran una o más sustancias peligrosas, en cantidades iguales o mayores a su cantidad de reporte, que al ser liberadas por condiciones anormales de operación o extremas, provocarían accidentes.

**Ambiente.-** Entorno en el que la organización opera, incluyendo: Aire, agua, suelo, Recursos naturales, flora, fauna, seres humanos y su interpelación. Se extiende desde el interior de la organización hasta el sistema global.

**Análisis de Consecuencias.-** Es el análisis de los efectos esperados de la ocurrencia de un incidente, independientemente de la probabilidad o frecuencia que tenga.

**Aspectos ambientales.-** Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el ambiente.

**Aspecto ambiental significativo.-** (AAS) es un aspecto ambiental que tiene o puede tener un impacto ambiental significativo, esto es, considerable por su magnitud o su probabilidad de ocurrencia.

**Análisis de Riesgo-** Conjunto de técnicas que consisten en la identificación, análisis y evaluación sistemática de la probabilidad de ocurrencia de daños asociados a los factores externos (fenómenos naturales, 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 en los empleados, público en general, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria).

**Causas.-** Son las razones por las que la falla ocurre. Una vez que se ha determinado que la falla puede tener posibles causas, debe considerarse a esto como algo de suma importancia así como una mayor probabilidad de ocurrencia de la falla.

Otra definición. Son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones. Cuando se demuestra que una desviación tiene una causa real, se considera como una **desviación significativa**.

**Clase.-** Es la prioridad asignada a las acciones recomendadas en base al nivel de riesgo encontrado basado en la matriz de riesgos.



**Componente.-** Es la pieza del equipo por analizar, ejemplos: cambiadores de calor, reactores, torres, etc. Incluyendo además sus accesorios tales como: líneas de instrumentación de control, válvulas de bloqueo, líneas de proceso.

**Consecuencia.-** Resultado de un evento no deseado, medido por sus efectos en los empleados, público en general, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria). Son los resultados que se obtendrán en caso de que se presenten determinadas desviaciones.

**Desviaciones.** Son los cambios que se presentan al propósito y se descubren por medio de la aplicación sistemática de palabras clave utilizadas en el desarrollo de la metodología HAZOP. (Flujo, Presión, Temperatura, Reacción, Nivel, etc.)

**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 acorde a las características de los procesos y/o materiales, las zonas potencialmente afectadas.

**Evento básico.-** Evento de un árbol de fallas que es lo suficientemente elemental, y por lo tanto no requiere ser más desarrollado (Falla de una pieza en un equipo, Error humano, Evento externo).

**Falla o desviación.-** Es la desviación de la intención original del componente la cual se encuentra aplicando las palabras guías.

**Frecuencia.-** Es el número de veces que se espera repita o ocurra una falla. Esta frecuencia será equivalente a la frecuencia mayor de cualquiera de las causas de una falla y generalmente se fija como incidencia por año.

**Gravedad.-** Son las consecuencias dañinas que puede tener un incidente dentro de la Planta. Su nivel se asigna con ayuda del equipo multidisciplinario.

**Impacto ambiental.-** Cualquier cambio al ambiente, bien sea adverso o benéfico, total o parcial, que resulte de las actividades, productos o servicios de una organización.

**Incidente.-** Es el evento ó combinación de eventos no planeados que se deben a errores humanos, fallas en los equipos y/o fenómenos naturales, que bajo circunstancias un poco diferentes, pudo tener ó no consecuencias para el personal, la población, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinarias).

**Medidas de Seguridad o Protecciones.** Son las medidas de seguridad con que cuenta el sistema, para cada causa, con el propósito de prevenir o mitigar las consecuencias asociadas.



**Mitigación.-** Conjunto de acciones para disminuir las consecuencias de la ocurrencia de un accidente.

**Modelo.-** Representación simplificada o esquemática de un evento o proceso con el propósito de facilitar su comprensión ó análisis.

**Nodo.** Es un punto o sección del Sistema en el cual se pueden presentar las siguientes condiciones:

- Una transferencia de materia o energía.
- Un incremento de energía potencial debido a medio mecánicos, tales como bombas o compresores.
- Una separación de fases.

Alguno de los nodos están incluidos o localizados sobre el ducto por lo que comúnmente reciben el nombre de "en línea"

Otra clase de nodos que pueden incluirse son del tipo "equipo", tales como recipientes, compresores o tanques atmosféricos, etc.

**Palabra clave.-** Son palabras sencillas que se utilizan para calificar la intención de diseño; guían y estimulan el proceso de pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones.

**Peligro (hazard).-** Designa una condición física o química que puede causar daños a las personas, el medio ambiente o la propiedad.

**Prevención.-** Conjunto de medidas tomadas para evitar o disminuir un riesgo.

**Probabilidad de ocurrencia.-** Posibilidad de que un evento acontezca en un lapso determinado.

**Potencial de pérdidas.** - Es la magnitud de afectación que una Instalación Industrial dada, puede sufrir al ocurrir un evento peligroso.

**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.

**Recomendaciones.** Para todas las causas identificadas y tomando como base las consecuencias de ocurrencia y medidas de seguridad existentes en el lugar, se proponen adicionalmente las recomendaciones necesarias, encaminadas a lograr un Índice de Riesgo Mejorado para la instalación analizada.

**Riesgo (risk).-** Probabilidad de sufrir pérdidas, o como una medida de pérdida económica o daño a las personas, expresad en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias.



**Salvaguarda.-** Es una protección para evitar o disminuir los efectos de algún acontecimiento no deseado.

**Sistema.-** Designa por lo general, la combinación de componentes individuales (por ejemplo: Trampa de diablos de envío, tramo de ducto, interconexiones, válvulas de corte, instrumentación, trampa de recibo de diablos, etc.), que operan en conjunto y dan por resultado la alimentación al proceso, la recirculación del fluido, el envío del fluido a otro destino o el desvío hacia otro destino, etc.

**BIBLIOGRAFÍA.**

1. **JOAQUIM CASAL, HELENA MONTIEL.** Análisis de riesgos en instalaciones industriales. Edit. Alfaomega. Barcelona, España.
  
2. **SANTAMARÍA, R.** Análisis y reducción de riesgos en la industria química. Fundación MAPFRE, España, 1994.
  
3. **BUFETE DE PROFESIONALES EN SEGURIDAD INDUSTRIAL, S.A DE C.V.** Criterios para evaluar la probabilidad de ocurrencia en árbol de fallas, Curso de Análisis de Riesgos, CONIC.
  
4. **GUIDELINES FOR HAZARD EVALUATION PROCEDURES.** American Institution of Chemical Engineers, 1985.
  
5. **DIVISION OF TECHNOLOGY FOR SOCIETY (TNO).** Asociación para la prevención de accidentes (APA). Curso Superior de Análisis de Riesgos (1989).
  
6. **S. G. LUXON.** Hazards in the Chemical Laboratory, 5ª ed. Editorial, Royal Society of Chemical.
  
7. **DAVID R. LIDE.** Basic Laboratory and Industrial chemical. Editorial. CRC.
  
8. **HAROLD G. PASKALL AND JOHN A. SAMES.** Sulfur Recovery. Editorial Western Research.
  
9. **GUIDELINES FOR CHEMICAL PROCESS QUANTITATIVE RISK ANALYSIS.** American Institute of Chemical Engineers. New York USA.
  
10. **MANUALES DE OPERACIÓN PARA LA PLANTA DE AZUFRE I Y SU UNIDAD DE TRATAMIENTO DE GAS DE COLA.** Refinería Héctor R. Lara Sosa en Cadereyta, N.L.



11. **TREVOR A. KLETZ.** Eliminating Potential Process Hazards. Chemical Engineering, pag. 48, April 1, 1985.
12. **ESTUDIO DE HAZOP, ECH OOFFSHORE. PEMEX.**
13. **GUILLERMO PLANAS CORED.** El sistema de permisos de trabajo como método de seguridad en el mantenimiento de la industria química. Ingeniería Química, 1990
14. **J. J. BIZCARTE URCHULUTEGUI.** Clasificación y Priorización de Riesgos Laborales.
15. **M. L. GRIFFIN AND F. H. GURRY.** Case histories of some power and control-based process safety incidents. Process Safety Progress (Vol. 13, No.1). January, 1994.
16. **JOSÉ L. MAÑAS LAHOZ.** Aprovechamiento de los métodos de análisis de riesgos para mejorar la seguridad en industrias químicas y afines. Ingeniería Química, abril 1991.
17. **MANUAL DE ANÁLISIS DE RIESGOS.** Instituto Mexicano del Petróleo (IMP).
18. **PRENTICE HALL.** Chemical Process Safety: Fundamentals with applications; crowl/louvar, 1990
19. [www.unizar.es/guiar/1/Accident/An\\_riesgo/HAZOP.htm](http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm)
20. <http://www.ametekpi.com/tailgasanalyzers.html>
21. [http://www.catalystrecovery.com/english/PDF/TAILGAS\\_PRO.PDF](http://www.catalystrecovery.com/english/PDF/TAILGAS_PRO.PDF)





## **APÉNDICE A.**

### **A.1. PANORAMA GENERAL DEL SIASPA .**

#### **Visión de Seguridad Industrial y Protección Ambiental de PEMEX**

- ⇒ El buen desempeño de Pemex en Seguridad Industrial y Protección Ambiental debe ser motivo de orgullo para sus trabajadores y empleados en particular y para todos los mexicanos, en general.
- ⇒ La Seguridad Industrial y Protección Ambiental es responsabilidad de todos los trabajadores y empleados de Pemex.
- ⇒ En el esfuerzo para alcanzar el éxito, la administración de la Seguridad Industrial y la Protección Ambiental es un componente medular. Pemex deberá ser líder nacional en los aspectos relativos a la Seguridad Industrial y Protección Ambiental.

#### **Los principios clave en los que se sustenta la política son los siguientes:**

- ⇒ Custodia
- ⇒ Seguridad Industrial y Salud Ocupacional
- ⇒ Administración de Recursos Naturales
- ⇒ Asignación de Recursos
- ⇒ Administración de Riesgos
- ⇒ Cumplimiento
- ⇒ Capacitación y Aprendizaje
- ⇒ Integración con la Cultura y Funciones de Pemex
- ⇒ Interacciones con las Comunidades
- ⇒ Relaciones con Partes Interesadas
- ⇒ Responsabilidad



Para dar soporte y asegurar el cumplimiento de la política así como su permanencia en el tiempo, la DCSSI en coordinación con los organismos subsidiarios consideró necesario el diseño por Pemex de un Sistema Integral de Administración de Seguridad y Protección Ambiental:



Cuyo Objetivo es:

Mejorar el desempeño en materia de Seguridad Industrial y Protección Ambiental en el corto y largo plazo e integrar su administración efectiva a la cultura de Pemex, de manera consistente con la política institucional sobre Seguridad Industrial y Protección Ambiental.

El SIASPA fue desarrollado por Pemex y está integrado por 18 elementos relacionados con el factor humano, los métodos de trabajo y las instalaciones. Maneja 5 niveles de desarrollo.

#### COMPONENTES DEL SIASPA

##### Factor Humano

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

##### Métodos

8. Planeación y presupuesto
9. Normatividad
10. Administración de la información
11. Tecnología del proceso
12. Análisis de riesgos
13. Administración del cambio
14. Indicadores de desempeño
15. Auditorías

##### Instalaciones

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



NIVELES DEL SIASPA

1. CONSIENTIZACION.
2. DISEÑO Y DESARROLLO.
3. EN PROCESO DE IMPLANTACION.
4. PROCESO IMPLANTADO.
5. EN BUSCA DE LA EXCELENCIA.



## **APÉNDICE B.**

### ***B.1. GESTIÓN Y BASES JURÍDICAS EN MATERIA EN RIESGO AMBIENTAL.***

A medida que la tecnología ha aumentado, así también ha avanzado el riesgo asociado con esta. Los efectos más importantes de la tecnología moderna sobre la salud pública tienen su origen en la exposición prolongada y crónica a emanaciones de contaminantes en los alrededores de los complejos industriales. Estos problemas ambientales derivados de la tecnología guardan relación estrecha con la seguridad; pues que raras son las veces en que, en las consecuencias ambientales, sociales y económicas, no haya implícitas cuestiones de seguridad; esto se hace más evidente en el caso de emanaciones accidentales, donde sus efectos sobre el medio ambiente llegan a ser en algunos casos de consecuencias fatales.

En México, los establecimientos comerciales, industriales y de servicio, han incrementado el manejo de sustancias peligrosas, siendo las tóxicas, explosivas e inflamables, las que pueden repercutir de manera más importante en la población.

Por otro lado, el crecimiento poblacional y la ubicación de los asentamientos humanos con relación a las industrias o establecimientos pueden presentar riesgos a la población.

Además, se toma en cuenta que en México, su territorio se encuentra ubicado en una región en la que se presentan con probabilidad significativa fenómenos naturales que conducen o pueden conducir a daños importantes a las instalaciones industriales, se hace necesario considerar el riesgo producido por fenómenos naturales como la sismicidad, inundaciones, etc.

La ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente en su artículo 5 Fracción X contempla: son asuntos de alcance general en la nación o de interés de la federación la regulación de las actividades que deben considerarse altamente riesgosas, según esta y otras leyes y sus disposiciones reglamentarias, por la magnitud o gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico o el ambiente.

Lo que hace la regulación de tales actividades consideradas como altamente riesgosas por la magnitud o gravedad de los efectos que puedan generar en el equilibrio ecológico es que sean tratadas como asunto de alcance general de la nación o de interés de la federación.

El crecimiento en México en las últimas décadas ha conllevado un fuerte impulso para el desarrollo económico y social contando con una importante participación del sector industrial, en el cual se incluyen la industria petrolera, petroquímica: sin embargo dada la amplitud de sus actividades y de las zonas en donde se desarrollan en cierto momento, ha ocasionado impactos y acciones para controlar las afectaciones al ambiente.



Con el objetivo de prevenir daños de consideración es necesario desarrollar técnicas de análisis de riesgos.

La Ley general del equilibrio ecológico y la protección al ambiente define como normas técnicas ecológicas al "conjunto de técnicas científicas o tecnológicas que establezcan los requisitos, especificaciones, condiciones, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en el desarrollo de actividades o uso y destino de bienes que causen o puedan causar desequilibrio ecológico o daño al ambiente y además, que uniformen principios, criterios, políticas y estrategias en la materia".

## **B.2. NORMATIVIDAD.**

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. Con base en 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:

- a) 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.
- b) Normas Regionales.
- c) Normas Internacionales.

## **B.3. NORMATIVIDAD EN MÉXICO.**

### **Ley Federal del Trabajo**

#### *Capítulo Sexto*

#### **Título noveno.- Riesgos de trabajo.**

El artículo 504 trata sobre los riesgos de trabajo que puede presentar un trabajador en el desarrollo de cierta actividad dentro de su centro de trabajo. Si el trabajador sufre algún accidente se debe dar aviso escrito a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, al inspector de trabajo y a la junta de conciliación y arbitraje, dentro de las 72 horas siguientes.

Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.

**Capítulo Sexto**

El manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, materiales y sustancias químicas peligrosas deberá realizarse en condiciones técnicas de seguridad para prevenir y evitar daños a la vida y salud de los trabajadores, así como en el centro de trabajo.

Las instalaciones y áreas de trabajo en las que se manejen, transporte y almacenen materiales y sustancias químicas peligrosas, deberán contar con las características necesarias para operar en condiciones de seguridad e higiene. Será responsabilidad del patrón realizar un estudio para analizar el riesgo potencial de dichos materiales y sustancias químicas, a fin de establecer las medidas de control pertinentes, de acuerdo a las normas correspondientes.

**Capítulo Segundo.**

Prevención, protección y combate de incendios.

En los centros de trabajo se deberá contar con medidas de prevención y protección, así como con sistemas y equipos para el combate de incendios, en función al tipo y grado de riesgo que entrañe la naturaleza de la actividad, de acuerdo con las normas respectivas.

**Capítulo Tercero.**

Sustancias Químicas Contaminantes Sólidas, Líquidas o Gaseosas.

En su artículo 82 dice que en los centros de trabajo donde se utilicen sustancias químicas sólidas, líquidas o gaseosas, que debido a los procesos, operaciones, características físico químicas y grado de riesgo, sean capaces de contaminar el ambiente de trabajo y alterar la salud de los trabajadores, el patrón estará obligado a establecer las medidas de seguridad e higiene que señalen las normas respectivas.



## APÉNDICE C.

### *C.1 PROPIEDADES DE LOS COMPUESTOS MÁS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE LA UTGC<sup>(6,7)</sup>.*

Para la identificación correcta del peligro potencial de una instalación industrial es necesaria la identificación y caracterización de las sustancias involucradas en el proceso.

El interés de estos datos radica principalmente en el efecto que las condiciones de operación producen sobre las sustancias involucradas en el proceso (por ejemplo, el agua en condiciones normales no presenta peligro de explosión; en cambio, en una caldera donde las condiciones de temperatura y presión son muy superiores al punto de ebullición a presión atmosférica, puede producir un accidente mayor del tipo BLEVE). El conocimiento de las posibles condiciones de operación normales y anómalas permite considerar y eliminar diferentes sustancias como susceptibles de provocar un accidente mayor.

### *C.2. PROPIEDADES DEL AGUA (H<sub>2</sub>O).*

El agua (water), es un líquido incoloro, inodoro e insípido; las formas alotrópicas son hielo (sólido) y vapor. El agua es un líquido altamente polar con alta constante dieléctrica (81 a 17°C), lo que explica su poder disolvente. Es un electrolito débil, que ioniza como H<sub>3</sub>O<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. El agua puede ser supercalentada en un autoclave e incrementando la presión; y puede ser superenfriada por adición de cloruro sódico u otro compuesto ionizante. Tiene actividad catalítica definida, especialmente de oxidación metálica.

**OBTENCIÓN:** Por oxidación de hidrógeno, producto final de combustión, producto final en una reacción ácido-base, producto final de reacción de condensación.

**ENVASES:** Camiones cisterna, tuberías.

**USOS:** Fabricación de papel, procesos textiles, disolvente, enfriante industrial, filtración, lavados y purgas, hidrólisis, sistemas hidráulicos, fuente de energía, generación de vapor.



PROPIEDADES DEL AGUA.

Constantes físicas					
$T_m$	0.00°C (273.15 K)				
$T_b$	100.00°C (373.15 K)				
$T_c$	373.99°C (647.14 K)				
$P_c$	22.06 Mpa				
$\mu$	1.854 D				
IP	12.61 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H (T_m)$	6.01 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (T_b)$	40.65 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (25^\circ C)$	43.98 kJ/mol				
$P_v (0^\circ C)$	0.611 kPa				
$P_v (25^\circ C)$	3.17 kPa				
$P_v (100^\circ C)$	101 kPa				
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	líquido	gas		sólido
$\Delta_f H^\circ (kJ mol^{-1})$		-285.8	-241.8	$\eta$	0.9970 g/mL
$S^\circ (J mol^{-1} K^{-1})$		70.0	188.8	$d$	0.893 mPa s
$C_T (J mol^{-1} K^{-1})$		75.3	33.6	$k$	0.6071 W/mk

En donde:

$T_m$ = Temperatura

$T_b$ = Temperatura de ebullición

$T_c$ = Temperatura Crítica

$P_c$ = Presión crítica

$P_v$ = Presión de vapor

$\mu$ = Viscosidad

IP= Índice de potencia

$\Delta_{fus}H$ = Entalpía de fusión

$\Delta_{vap}H$ = Entalpía de vaporización

$\Delta_f H^\circ$ = Entropía de fusión

$S^\circ$  = Entropía

$C_T$  = Calor específico





### **C.3. PROPIEDADES DEL AZUFRE (S<sub>2</sub>).**

El azufre (sulfur) con símbolo S, es un elemento no metálico de número atómico 16, perteneciente al grupo VI del sistema periódico. Peso atómico: 32.06. Valencias, 2.446. Tiene cuatro isótopos estables. límites de explosividad= 35 mg/litro en el aire, temperatura de autoignición= 190°C.

**ENVASES:** Sacos, barriles, a granel en vagones y barcos, fundido en tuberías calentadas con vapor.

**PELIGROS:** En forma finamente dividida, riesgo de incendio y explosión. El polvo de azufre es un irritante, puede ser dañino al inhalarse o ingerirse.

**USOS:** Manufactura de ácido sulfúrico, manufactura de pasta de papel, disulfuro de carbono, vulcanización de caucho; colorante y productos químicos, drogas y productos farmacéuticos; explosivos, insecticidas, repelente de roedores, fertilizantes, acondicionador del suelo, fungicida, etc.

**REACCIONES ARRIESGADAS:** La evaporación de un extracto etéreo de azufre explota violentamente; reacciona con grados variantes de energía con una variedad de sustancias.



PROPIEDADES DEL AZUFRE.

Constantes físicas					
$T_m$	115.21°C (388.36 K)				
$T_b$	444.60°C (717.75K)				
$T_c$	1041°C (1314K)				
$P_c$	20.7 MPa				
IP	10.36 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H (T_m)$	1.72 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (T_b)$	45.00 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (25^\circ\text{C})$					
$P_v (0^\circ\text{C})$					
$P_v (25^\circ\text{C})$					
$P_v (100^\circ\text{C})$					
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	líquido	gas		sólido
$\Delta_f H^\circ (\text{kJ mol}^{-1})$	0.0		277.2	$\eta$	2.07 g/mL
$S^\circ (\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1})$	32.1		167.8	$d$	N/A
$C_T (\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1})$	22.6		23.7	$k$	0.27 W/mk

En donde:

- $T_m$ = Temperatura
- $T_b$ = Temperatura de ebullición
- $T_c$ = Temperatura Crítica
- $P_c$ = Presión crítica
- $P_v$ = Presión de vapor
- $\mu$ = Viscosidad
- IP= Índice de potencia
- $\Delta_{fus}H$ = Entalpía de fusión
- $\Delta_{vap}H$ = Entalpía de vaporización
- $\Delta_f H^\circ$ = Entropía de fusión
- $S^\circ$  = Entropía
- $C_T$  = Calor específico



**C.4. PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>).**

El dióxido de carbono (carbon dioxide) es: a) líquido volátil, incoloro, inodoro, con un punto de ebullición de (-37°C). b) gas incoloro, inodoro con peso específico de 1.53. c) sólido (hielo seco) blanco, cubos o copos semejantes a la nieve. Todas las formas son incombustibles. Soluble en agua (ácido carbónico, H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), hidrocarburos y la mayoría de líquidos orgánicos. Tiene un TLV= 5000ppm

**ENVASES:** Líquido: cilindros de acero, vagones y camiones cisterna. Sólido: cubos de 25cm forrados de papel, aislados con tablero ondulado y otros tipos especiales. Transportado en vagones o camiones refrigerados aislados.

**USOS:** Refrigeración, bebidas carbónicas, intermediario químico (carbonatos, fibras sintéticas, paraxileno, etc), verificador de bajas temperaturas, extintor de incendios, atmósferas inertes, aerosoles, tratamiento de aguas municipales, etc.

**PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE CARBONO.**

Constantes físicas	
T <sub>t</sub>	56.57°C (216.58 K) (punto triple)
T <sub>s</sub>	-78.4°C (194.7K) (punto de sublimación)
T <sub>c</sub>	30.99°C (304.14K)
P <sub>c</sub>	7.375 MPa
μ	0 D
IP	13.77 eV
Propiedades de Transición	
Δ <sub>fus</sub> H (T <sub>m</sub> )	9 kJ/mol
Δ <sub>vap</sub> H (T <sub>b</sub> )	
Δ <sub>vap</sub> H (25°C)	
P <sub>v</sub> (0°C)	3489 kPa
P <sub>v</sub> (25°C)	
P <sub>v</sub> (100°C)	N/A
Propiedades a 25°C y 100kPa	
	sólido    líquido    gas    sólido
Δ <sub>f</sub> H° (kJmol <sup>-1</sup> )	
S° (Jmol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	
C <sub>T</sub> (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )	
	η    d    k
	1.799 g/mL
	213.8
	37.1
	14.9 μPa s
	0.0168 W/mk



En donde:

- $T_m$  = Temperatura  
 $T_b$  = Temperatura de ebullición  
 $T_c$  = Temperatura Crítica  
 $P_c$  = Presión crítica  
 $P_v$  = Presión de vapor  
 $\mu$  = Viscosidad  
 $IP$  = Índice de potencia  
 $\Delta_{fus}H$  = Entalpía de fusión  
 $\Delta_{vap}H$  = Entalpía de vaporización  
 $\Delta_f H^\circ$  = Entropía de fusión  
 $S^\circ$  = Entropía  
 $C_T$  = Calor específico

### ***C.5. PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE AZUFRE (SO<sub>2</sub>).***

El dióxido de azufre (sulfur dioxide), gas o líquido incoloro con olor picante, soluble en agua, alcohol y éter. Forma ácido sulfuroso H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. Punto de ebullición = -10°C, punto de fusión = -76.1°C, peso específico 1.4337, líquido a 0°C, presión de vapor= 3.2 atm a 20°C. Agente oxidante y reductor excepcional. No combustible.

**OBTENCIÓN:** a) por tostación de piritas en hornos especiales. El gas se licúa fácilmente por enfriamiento con hielo y sal, o a presión de 3 atm; b) comprimiendo el anhídrido sulfuroso producido en operaciones de fundición; c) por quemado de azufre.

**ENVASES:** Cilindros de presión de 1 a 136 kg, tambores de tonelada en vagones de unidades múltiples, vagones sistema de 18,000 kg.

**PELIGROS:** Muy tóxico por inhalación, fuerte irritante para los ojos y las membranas mucosas. Un peligroso contaminante del aire y constituyente del smog. Tolerancia, TLV=2 ppm en el aire. Su uso no se permite en carnes y otras fuentes de vitamina B.

**USOS:** Productos químicos (ácido sulfúrico, sulfitos, hidrosulfitos de potasio y sodio, iosulfatos, etc).

**EFFECTOS TÓXICOS:** El gas irrita el sistema respiratorio y puede causar bronquitis y asfixia. En concentraciones altas el gas irrita los ojos y puede causar conjuntivitis.



PROPIEDADES DEL DIÓXIDO DE AZUFRE.

Constantes físicas					
$T_m$	-75.5°C (197.6 K)				
$T_b$	-10.05°C (263.10K)				
$T_c$	157.7°C (430.8K)				
$P_c$	7.884 MPa				
$\mu$	1.633 D				
IP	12.32 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H$ ( $T_m$ )					
$\Delta_{vap}H$ ( $T_b$ )	24.94 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H$ (25°C)	22.92 kJ/mol				
$P_v$ (0°C)	155 kPa				
$P_v$ (25°C)					
$P_v$ (100°C)	N/A				
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	líquido	gas		sólido
$\Delta_f H^\circ$ (kJ mol <sup>-1</sup> )		-320.5	-2	$\eta$	2.619 g/L
$S^\circ$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )				$d$	12.8 $\mu$ Pa s
$C_T$ (J mol <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup> )				$k$	0.0096 W/mk

En donde:

- $T_m$ = Temperatura
- $T_b$ = Temperatura de ebullición
- $T_c$ = Temperatura Crítica
- $P_c$ = Presión crítica
- $P_v$ = Presión de vapor
- $\mu$ = Viscosidad
- IP= Índice de potencia
- $\Delta_{fus}H$ = Entalpía de fusión
- $\Delta_{vap}H$ = Entalpía de vaporización
- $\Delta_f H^\circ$ = Entropía de fusión
- $S^\circ$  = Entropía
- $C_T$  = Calor específico



### ***C.6. PROPIEDADES DEL DISULFURO DE CARBONO (CS<sub>2</sub>).***

El disulfuro de carbono (carbon disulfide), es claro, incoloro o ligeramente amarillo, casi inodoro cuando está puro; olor fuerte desagradable. Tiene un punto de ebullición de 1260 a 25/25°C, un punto de ebullición= 46.3°C, punto de congelación= -111°C, ind. ref. 1.6232 (25°C), punto de inflamación= -30°C. Soluble en alcohol, benceno y éter, ligeramente soluble en agua. límite de explosividad= 1-44%, temperatura de autoignición= 100°C.

**OBTENCION:** a) reacción del gas natural o fracciones de petróleo con azufre; b) a partir del gas natural y del sulfuro de hidrógeno a temperatura extremadamente alta (proceso plasma); c) por calentamiento de azufre con carbón vegetal y condensación de vapores de disulfuro de carbono.

**MÉTODO DE PURIFICACIÓN:** Destilación.

**IMPUREZAS:** Compuestos de azufre.

**ENVASES:** Barriles, camiones cisterna.

**PELIGROS:** Muy inflamable, riesgo de incendio y explosión peligrosos; puede quemar por fricción. Límites de explosión en el aire 1 a 50%. Muy tóxico. Etiqueta de precaución MCA. Tolerancia 20 ppm en el aire. Absorción cutánea.

**USOS:** Viscosa de rayón, celofán, producción de tetracloruro de carbono y agentes de flotación, medicina veterinaria, disolvente.

**PRECAUCIONES DE TRANSPORTE:** (IIC, IATA) no se acepta por avión o vía express. (CG) etiqueta roja.

**EFFECTOS TÓXICOS:** cuando es inhalado en concentraciones altas produce efectos narcóticos y puede producir inconsciencia. La inhalación repetida del vapor por encima de un periodo puede causar daño severo al sistema nervioso, incluso la falta de visión, perturbación mental, y parálisis. El líquido y vapor irritan los ojos. El líquido es venenoso si es ingerido o es absorbido a través de la piel.



PROPIEDADES DEL DISULFURO DE CARBONO.

Constantes físicas					
$T_m$	-111.5°C (161.6 K)				
$T_b$	46°C (319K)				
$T_c$	279°C (552K)				
$P_c$	7.90 MPa				
$\mu$	0 D				
IP	10.07 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H (T_m)$	4.40 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (T_b)$	26.74 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (25^\circ C)$	27.51 kJ/mol				
$P_v (0^\circ C)$	16.9 kPa				
$P_v (25^\circ C)$	48.2 kPa				
$P_v (100^\circ C)$					
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	líquido	gas		sólido
$\Delta_f H^\circ (kJ mol^{-1})$		89.0	116.6	$\eta$	1.2555 g/mL
$S^\circ (J mol^{-1} K^{-1})$		151.3	237.8	$d$	0.352 $\mu Pa s$
$C_T (J mol^{-1} K^{-1})$		76.4	45.4	$k$	0.149 W/mk

En donde:

- $T_m$ = Temperatura
- $T_b$ = Temperatura de ebullición
- $T_c$ = Temperatura Critica
- $P_c$ = Presión crítica
- $P_v$ = Presión de vapor
- $\mu$ = Viscosidad
- IP= Índice de potencia
- $\Delta_{fus}H$ = Entalpía de fusión
- $\Delta_{vap}H$ = Entalpía de vaporización
- $\Delta_f H^\circ$ = Entropía de fusión
- $S^\circ$  = Entropía
- $C_T$  = Calor específico



**C.7. PROPIEDADES DEL SULFURO DE CARBONILO (COS).**

Sulfuro de carbonilo (carbon oxysulfide), altamente toxico.

**PROPIEDADES DEL SULFURO DE CARBONILO.**

Constantes físicas					
$T_m$	-138.8°C (134.3 K)				
$T_b$	-50°C (223K)				
$T_c$	102°C (375K)				
$P_c$	5.88 MPa				
$\mu$	0.715 D				
IP	11.17 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H$ ( $T_m$ )					
$\Delta_{vap}H$ ( $T_b$ )					
$\Delta_{vap}H$ (25°C)					
$P_v$ (0°C)					
$P_v$ (25°C)					
$P_v$ (100°C)					
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	líquido	gas		sólido
$\Delta_f H^\circ$ ( $\text{kJ mol}^{-1}$ )			-142.0	$\eta$	2.456 g/mL
$S^\circ$ ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )			231.0	$d$	
$C_T$ ( $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ )			41.5	$k$	

En donde:

- $T_m$ = Temperatura
- $T_b$ = Temperatura de ebullición
- $T_c$ = Temperatura Crítica
- $P_c$ = Presión crítica
- $P_v$ = Presión de vapor
- $\mu$ = Viscosidad
- IP= Índice de potencia
- $\Delta_{fus}H$ = Entalpía de fusión
- $\Delta_{vap}H$ = Entalpía de vaporización





$\Delta_f H^\circ$  = Entropía de fusión

$S^\circ$  = Entropía

$C_T$  = Calor específico

### C.8. PROPIEDADES DEL HIRÓGENO ( $H_2$ ).

El hidrógeno, (hydrogen), tiene un peso atómico de 1.0080. El elemento más ligero.

Gas: densidad= 0.0899 g/l, punto específico referido al aire, = 0.0694, volumen específico= 1.21 m<sup>3</sup>/kg a 21°C, punto de fusión= -259°C, punto ebullición= -252°C, temperatura de autoignición= 580°C, muy poco soluble en agua, alcohol y éter, no tóxico, no corrosivo, puede presentarse en estado cristalino de 4°K a 1°K.

Líquido: punto de ebullición= -253°C, presión crítica = 13.4atm, peso específico= 0.144.

**OBTENCIÓN:** a) por acción del vapor sobre el gas natural a temperatura elevada y purificación subsiguiente; b) por oxidación parcial de hidrocarburos dando dióxido de carbono e interacción del monóxido de carbono con vapor; c) descomposición térmica de hidrocarburos o reformado catalítico de petróleo; d) reacción de hierro con vapor; e) reacción catalítica de metanol y vapor; f) electrólisis de agua (proceso industrial).

**MÉTODO DE PURIFICACIÓN:** Por burbujeo a través de varias soluciones. El hidrógeno muy puro por difusión a través de paladio.

**ENVASES:** Cilindros de acero, vagones cisterna (en cilindro), oleoductos.

**PELIGROS:** Muy inflamable y explosivo, peligroso cuando se expone al calor y la llama, límite de explosividad en el aire de 4 a 75% en volumen.

**USOS:** (GAS) producción de amoníaco y metanol sintético, refinación de petróleo, hidrogenación de materias orgánicas, agente reductor para síntesis orgánicas y minerales metálicos, atmósferas reductoras para prevenir la oxidación, etc.

**PRECAUCIONES DE TRANSPORTE:** Gas comprimido (ICC, CG, IATA), gas inflamable. Etiqueta roja. No se acepta en aviones de pasajeros. Licuado (ICC, CG), solo con permiso especial en camiones cisterna y en envases transportables, puede ser transportado en buques cisterna bajo permiso especial, de otro modo no está permitido por CG. (IATA) no se acepta.

**EFFECTOS TÓXICOS:** Clasificado como un simple gas asfixiante.



PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO.

Constantes físicas					
$T_m$	-259.34°C (13.81 K)				
$T_b$	-252.87°C (20.28K)				
$T_c$	-240.18°C (32.97K)				
$P_c$	1.293 MPa				
$\mu$	0 D				
IP	15.43 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H (T_m)$	0.12 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (T_b)$	0.90 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (25^\circ C)$					
$P_v (0^\circ C)$	N/A				
$P_v (25^\circ C)$	N/A				
$P_v (100^\circ C)$	N/A				
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	líquido	gas		sólido
$\Delta_f H^\circ (kJ mol^{-1})$			0.0	$\eta$	0.082 g/L
$S^\circ (J mol^{-1} K^{-1})$			130.7	$d$	8.9 $\mu Pa s$
$C_T (J mol^{-1} K^{-1})$			28.8	$k$	0.1869 W/mk

En donde:

- $T_m$ = Temperatura
- $T_b$ = Temperatura de ebullición
- $T_c$ = Temperatura Crítica
- $P_c$ = Presión crítica
- $P_v$ = Presión de vapor
- $\mu$ = Viscosidad
- IP= Índice de potencia
- $\Delta_{fus}H$ = Entalpía de fusión
- $\Delta_{vap}H$ = Entalpía de vaporización
- $\Delta_f H^\circ$ = Entropía de fusión
- $S^\circ$  = Entropía
- $C_T$  = Calor específico



**C.9. PROPIEDADES DEL NITRÓGENO ( $N_2$ ).**

El nitrógeno (nitrogen) es un elemento gaseoso de número atómico 7, del grupo VA de la tabla periódica, peso atómico= 14.0067, gas diatómico, incoloro, inodoro, constituye las cuatro partes del aire, líquido incoloro, químico no reactivo, temperatura de ebullición=  $-195.5^{\circ}\text{C}$ , ligeramente soluble en agua y raramente soluble en alcohol. No combustible.

**ENVASES:** Cilindros de acero, oleoductos.

**USOS:** Fabricación de amoníaco, acrilonitrilo, cianuros, nitruros, refrigeración de alimentos en hielo seco.

**PROPIEDADES DEL NITROGENO.**

Constantes físicas					
$T_m$	-210.00°C (63.15 K)				
$T_b$	-195.79°C (77.36K)				
$T_c$	-146.94°C (126.21K)				
$P_c$	3.39 MPa				
$\mu$	0 D				
IP	15.58 eV				
Propiedades de Transición					
$\Delta_{fus}H (T_m)$	0.71 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (T_b)$	5.57 kJ/mol				
$\Delta_{vap}H (25^{\circ}\text{C})$					
$P_v (0^{\circ}\text{C})$	N/A				
$P_v (25^{\circ}\text{C})$	N/A				
$P_v (100^{\circ}\text{C})$	N/A				
Propiedades a 25°C y 100kPa					
	sólido	liquido	gas		sólido
$\Delta_f H^{\circ} (\text{kJmol}^{-1})$			0.0	$\eta$	1.145 g/L
$S^{\circ} (\text{Jmol}^{-1}\text{K}^{-1})$			191.6	$d$	17.8 $\mu\text{Pa s}$
$C_T (\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1})$			29.1	$k$	0.0260 W/mk

En donde:

$T_m$ = Temperatura

$T_b$ = Temperatura de ebullición



- T<sub>c</sub>= Temperatura Crítica  
P<sub>c</sub>= Presión crítica  
P<sub>v</sub>= Presión de vapor  
μ= Viscosidad  
IP= Índice de potencia  
Δ<sub>fus</sub>H= Entalpía de fusión  
Δ<sub>vap</sub>H= Entalpía de vaporización  
Δ<sub>f</sub>H°= Entropía de fusión  
S° = Entropía  
C<sub>T</sub> = Calor específico

### *C.10 PROPIEDADES DEL ÁCIDO SULFHÍDRICO (H<sub>2</sub>S).*

El ácido sulfhídrico (hydrogen sulfide) tiene las siguientes propiedades:

**PROPIEDADES FÍSICAS:** Gas descolorido con una característica de olor ofensiva como de huevos podridos.

**RIESGO de FUEGO:** Límites de explosividad entre 4.3 y 46%, temperatura de autoignición= 260°C. Cierre de válvula del flujo de gas y extinguir fuego con agua, sustancias secas, o dióxido de carbono. Si es posible, deben quitarse cilindros rápidamente del área en la que el fuego se ha desarrollado.

**PROPIEDADES QUÍMICAS:** Un gramo de H<sub>2</sub>S se disuelve en 242ml de agua, en 94.3ml de etanol y en 48.5ml de éter a 20°C. También soluble en glicol. Las soluciones acuosas no son estables, absorbe oxígeno y causa la formación de azufre.

**PROPIEDADES FISIOLÓGICAS Y RIESGOS DE SALUD.** Este gas en concentraciones altas produce inconciencia inmediata por parálisis respiratoria. A concentraciones más bajas del gas el sistema respiratorio se irrita, así como ojos y provoca dolor de cabeza, vértigo, y debilidad, puede provocar conjuntivitis. Se debe evitar la inhalación del gas. TLT-TWA 10 ppm (14 mg/m<sup>3</sup>), TLV-STEL 15 ppm (21 mg/m<sup>3</sup>).

Gas licuado extremadamente flamable. Es muy tóxico por inhalación.

Límites de explosividad de 4.346%, temperatura de autoignición= 260°C.



### *C.11. PROPIEDADES DE LA AMINA.*

La amina (amine), es un tipo de compuestos orgánicos de nitrógeno, que pueden considerarse como derivados del amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) sustituyendo uno o más átomos de hidrógeno por radicales tales como  $\text{CH}_3$  o  $\text{C}_6\text{H}_5$ , dando metil amina y anilina, respectivamente. El primero es un gas a temperatura y presión ordinarias, pero otras aminas son líquidas o sólidas. Todas las aminas son básicas por naturaleza y suelen combinarse fácilmente con el ácido clorhídrico y otros ácidos fuertes para formar sales.



### **APÉNDICE D<sup>(16)</sup>.**

En este apéndice se muestran tablas que contienen información de lo explicado en este proyecto, dicha información es un resumen de los métodos de análisis de riesgos, así como sus principales ventajas y desventajas. Estas tablas se anexan para facilitar el entendimiento de los métodos de evaluación de riesgos de una manera rápida.



## APROVECHAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS.

CARACTERÍSTICAS TIPOS DE A.R.	OBJETO DEL ANÁLISIS	TÉCNICAS USADAS	UTILIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LOS SISTEMAS PREVENTIVOS DE LAS I.Q.A.
Lista de chequeo (check-list)	Comparación de materiales y equipos con los datos y códigos establecidos por la experiencia	Identificación de riesgos	Sirven como una primera identificación de los riesgos más comunes. Además a los Servicios de Seguridad les pueden ayudar para asegurarse del cumplimiento de los Reglamentos Oficiales y de los Códigos Profesionales (Diseño, Mantenimiento, Operabilidad, etc.) y de la Normativa de la Empresa (Normas, P.O., Reglamentos Internos, etc). Además, pueden servir para detectar partes de las instalaciones que necesiten A.R. más profundos.
Revisión de Procesos ¿Qué ocurre si...? (What If?)	Identificar posibles secuencias de accidentes para sustanciar a consecuencias de los fallos, riesgos y posible reducción de los mismos	Identificación de riesgos	Pueden ser útiles para estudiar, desde el punto de vista de los riesgos, las modificaciones que se hayan podido efectuar en las instalaciones. Al identificar las posibles secuencias de los procesos, permiten sustanciar las consecuencias de los fallos y los riesgos, y su posible reducción.
Análisis Consecencial (Cálculo de Efectos)	Determinación de las posibles consecuencias (efectos) por fugas, derrames, etc., de materias o energías peligrosas	Evaluación de consecuencias	Pueden ayudar a que los Servicios de Seguridad pongan a prueba sus capacidades de planificación y previsión, actualicen sus Planes de Emergencia, estudien áreas de evacuación y/o descontaminación, etc. Además, ayudan a calcular "por exceso" lo que podría suceder, lo cual, desde el punto de vista preventivo y para una estricta aplicación interna de las empresas, puede ser muy conveniente.



## APROVECHAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS .

CARACTERÍSTICAS TIPOS DE A.R	OBJETO DEL ANÁLISIS	TÉCNICAS USADAS	UTILIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LOS SISTEMAS PREVENTIVOS DE LAS I.Q.A.
HAZOP (AFO) (Análisis Funcionales de Operabilidad)	Examen crítico y sistemático para evaluar el riesgo potencial de fallas en la operación o de funcionamiento defectuosos de los equipos	-Identificación de riesgos  - Predictivo	Permiten sacar a la luz, además de los riesgos, los estrictos problemas de operabilidad de la planta, a menudo muy relacionados con las disfunciones técnicas y las ineficiencias económicas.  Pueden ser valiosos para los Servicios de Seguridad, Departamentos de Prevención y Gerencias de Riesgos.
FTA: Análisis del árbol de fallos.	Estudio de los acontecimientos que conduzcan a situaciones de riesgos por fallas de los componentes	- Identificación y Evaluación de Riesgos -Deductivo	Sirven para deducir las combinaciones de fallas humanas y de equipos que pudieran desencadenar un determinado "Suceso Superior" (Accidente importante).  Pueden ayudar tanto a la identificación de riesgos cualitativos como a la evaluación cuantitativa.
ETA: Análisis del árbol de sucesos.	Estudio de accidentes que puedan ser provocados por el fallo de un determinado equipo	-Identificación y Evaluación de Riesgos  - Inductivo	Ayudan en el proceso de inducción de las secuencias de los sucesos que describen los accidentes potenciales (a partir de la suposición de que ocurriera un determinado "Suceso Indicador").  Permiten estudiar las "Secuencias de Sucesos" y tomar las adecuadas medidas de Seguridad.





## APROVECHAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS .

CARACTERÍSTICAS TIPOS DE A.R.	OBJETO DEL ANÁLISIS	TÉCNICAS USADAS	UTILIZACIÓN DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LOS SISTEMAS PREVENTIVOS DE LAS I.Q.A.
FMEA/ FMECA: Análisis de efectos y modos de falla	Identificación de los diferentes modos de falla de los equipos o instalaciones, y sus posibles consecuencias	- Identificación de riesgos  - Inductivo	Con sus resultados de tipo cualitativo, resultan adecuados para estimar los casos más desfavorables, o críticos, producidos como consecuencia de ciertas "fallas simples" de los equipos o instalaciones.
Indices dowl/ mond	Evaluación cuantitativa de los daños de acontecimientos peligrosos en plantas con M.P. (materia prima)	Evaluación de áreas afectadas y daños	Sirven para cuantificar en grados relativos, los riesgos mediante la evaluación de sus consecuencias, tanto económicas como en tiempos de paro. Al ordenar, por "Grado de Riesgo", las distintas plantas o unidades, permiten establecer prioridades y urgencias en las medidas a tomar.
Análisis Histórico (Identificación de sucesos) (bases de datos)	Identificación de accidentes (sucesos) y de fallos de componentes	Análisis histórico de sucesos	Permiten ayudar a conocer lo que "realmente ha pasado" no lo que debería o podría pasar. Nos informan, por tanto, de las verdaderas consecuencias y de las verdaderas fallas, sin las simplificaciones que a veces llevan consigo los métodos físico- matemáticos (teóricos).



APROVECHAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS . (VENTAJAS Y DESVENTAJAS)					
CARACTERÍSTICAS TIPOS DE A.R.	OBJETO DEL ANÁLISIS	TÉCNICAS USADAS	CUANTIFICACIÓN	VENTAJAS DEL MÉTODO	LIMITACIONES DEL MÉTODO
Lista de chequeo (check-list)	Comparación de materiales y equipos con los datos y códigos establecidos por la experiencia	Identificación de riesgos	NO	Método simple, rápido y muy económico. Lo puede utilizar cualquier técnico.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La utilidad de las listas de chequeo está limitada por la experiencia de quienes las preparan. Deben ser continuamente puestas al día.</li> <li>- A veces se omiten en ellas asuntos importantes.</li> </ul>
Revisión de Procesos ¿Qué Ocurre si...? (What if?)	Identificar posibles secuencias de accidentes para sustanciar consecuencias de los fallos, riesgos y posible reducción de los mismos	Identificación de riesgos	NO	Es un método muy usado. Puede utilizarse en cualquier momento; diseño, funcionamiento, sobre todo, recomendable para modificaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El personal que lo aplica debe ser muy experto.</li> <li>- Si no se tiene experiencia en su aplicación puede resultar costoso.</li> </ul>
Análisis Consecencial (Cálculo de Efectos)	Determinación de las posibles consecuencias (efectos) por fugas, derrames, etc., de materias o energías peligrosas	Evaluación de consecuencias	SÍ	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Permite el uso de la informática.</li> <li>- Es de aplicación rápida.</li> <li>-Suele calcular "lo peor que podría pasar" (desde el punto de vista de la seguridad.)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son modelos teóricos que exigen hacer simplificaciones que, a veces, no se dan en la práctica.</li> <li>- Los modelos están en desarrollo y necesitan su verificación.</li> <li>- Son sistemas aproximativos.</li> <li>- Sus resultados están en discusión.</li> </ul>



APROVECHAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS . (VENTAJAS Y DESVENTAJAS)					
CARACTERÍSTICAS TIPOS DE A.R.	OBJETO DEL ANÁLISIS	TÉCNICAS USADAS	CUANTIFICACIÓN	VENTAJAS DEL MÉTODO	LIMITACIONES DEL MÉTODO
HAZOP (AFO) (Análisis Funcionales de Operabilidad)	Examen crítico y sistemático para evaluar el riesgo potencial de fallos en la operación o de funcionamiento defectuosos de los equipos	-Identificación de riesgos  - Predictivo	NO	- Método muy práctico. - Resulta creativo y "muy abierto". - Permite ser utilizado en plantas nuevas y en instalaciones ya existentes.	- Es un método relativamente costoso (en tiempo). - Exige, como requisito previo, que los sistemas de protección se revisen con regularidad y que se reparen con prontitud. - Método de aplicación obligatorio expresamente citado en el R.D. 886/88
FTA: Análisis del árbol de fallos.	Estudio de los acontecimientos que conducen a situaciones de riesgos por fallos de los componentes	-Identificación y Evaluación de Riesgos -Deductivo	POSIBLE	- Muy adecuado para estudiar los efectos perniciosos de los errores humanos. - Permite ser usado cualitativa y cuantitativamente. - Permite la aplicación de ordenadores.	- Debe ser utilizado por personas con experiencia, instrucción y mente deductiva. - Requiere esfuerzos y tiempo para lograr análisis profundos. - La fiabilidad de los datos de partida de las fallos de los componentes, en la IQA, está en discusión.
ETA: Análisis del árbol de sucesos.	Estudio de accidentes que pueden ser provocados por el fallo de un determinado equipo u operación	-Identificación y Evaluación de Riesgos  - Inductivo	POSIBLE (DIFÍCIL)	- Personal de cualificación similar al del FTA. - Permite evaluar los distintos accidentes que se pueden provocar tras un determinado fallo.	Resulta, como el FTA, cara su aplicación.



APROVECHAMIENTO DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS PARA MEJORAR LA SEGURIDAD EN LAS INDUSTRIAS QUÍMICAS . (VENTAJAS Y DESVENTAJAS)					
CARACTERÍSTICAS TIPOS DE A.R.	OBJETO DEL ANÁLISIS	TÉCNICAS USADAS	CUANTIFICACIÓN	VENTAJAS DEL MÉTODO	LIMITACIONES DEL MÉTODO
FMEA/ FMECA: Análisis de efectos y modos de falla	Identificación de los diferentes modos de falla de los equipos o instalaciones, y sus posibles consecuencias	- Identificación de riesgos  - Inductivo	NO	En la etapa de diseño permite identificar protecciones adicionales fácilmente incorporables.	- No suele examinar los errores humanos. - Son sistemas costosos ( en tiempo) y exigen ser hechos por especialistas que conozcan: a) el FMEA y b) que estén familiarizados con el funcionamiento de los sistemas que se analizan.
Índices dow/ mond	Evaluación cuali-cuantitativa de los daños de acontecimientos peligrosos en plantas con M.P.	Evaluación de áreas afectadas y daños	GRADOS DE EXPOSICION (RELATIVOS AL RIESGO)	- Permiten una estimación de consecuencias en términos económicos y en tiempos de paros. - Identifican áreas críticas y medidas de protección.	- Exige personal preparado. - Método de un relativo coste. - Básicamente estudia el fuego y las explosiones, pero no la toxicidad, corrosividad, etc.
Análisis Histórico (Identificación de sucesos) (bases de datos)	Identificación de accidentes (sucesos) y de fallos de componentes	Análisis histórico de sucesos	SOLO EN % DE SUCESOS Y FALLAS.	- Representan "lo que ha pasado" y no elucidaciones teóricas. Son, pues, muy prácticos. - Permiten añadir los accidentes /incidentes de la instalación a estudiar a los de las Bases de Datos existentes. - Permiten un análisis histórico-estadístico.	- Necesita: a) que los datos de partida sean fiables b) que el número de accidentes/incidentes sea lo suficientemente grande. - Su recogida y codificación es costosa.