



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

IDENTIFICACIÓN DE LOS RIESGOS POTENCIALES PARA
MINIMIZAR Y CONTROLAR LOS RIESGOS DE PROCESO EN LA
SECCIÓN DE REACCIÓN Y DESBUTANIZACIÓN EN UNA
PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS

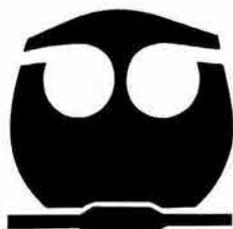
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUIMICA

P R E S E N T A :

ARMENTA DOMÍNGUEZ ADRIANA



MÉXICO



EXAMENES PROFESIONALES 2004
FACULTAD DE QUIMICA



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.

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Prof. Víctor Manuel Luna Pabello

VOCAL: Profa. Ma. Rafaela Gutiérrez Lara

SECRETARIO: Prof. M. Javier Cruz Gómez

1ER. SUPLENTE: Prof. Alejandro Villalobos Hiriart

2DO. SUPLENTE: Prof. José Luis Zaragoza Gutiérrez

LUGAR DONDE SE DESARROLLO ESTE TRABAJO:

Laboratorio 212 del Edificio E de Ingeniería Química de la Facultad de Química de la

UNAM, en la Ciudad Universitaria, México D.F.



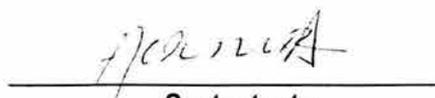
Asesor de Tema:

Dr. M. Javier Cruz Gómez.



Asesor Técnico:

I.M. Héctor Javier Cruz Campa



Sustentante:

Adriana Armenta Domínguez

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios por guiarme a donde voy...

A mis padres Miguel Armenta Rivera y Gloria Domínguez Hernández, por el apoyo y confianza que siempre han tenido en mí...

A mis hermanos, y especialmente a Andrés Armenta Domínguez por ser el regalo más preciado que me ha dado la vida...

Gracias a ti que puedes hacer que se detenga el tiempo, y que la vida tenga sentido, por que siempre encuentro en ti todos mis anhelos, Alfredo A. Malvaez Camacho, gracias por todos los maravillosos momentos que he pasado a tu lado, tuyo es mi corazón...

A la Universidad Nacional Autónoma de México por ser el lugar donde los sueños pueden hacerse realidad...

A los amigos que han estado conmigo hasta el final Mónica Flores, Griselda Salazar, Columba López, Margarita Valdés, Oscar Figueroa, Tania Bravo, muchas gracias por estar cerca de mí...

Al Dr. M. Javier Cruz Gómez por la oportunidad de ser parte de este proyecto.

ÍNDICE.

Lista de abreviaturas generales.....	VI
Lista de abreviaturas de instrumentación de proceso	VII
Resumen	VIII

CAPITULO UNO INTRODUCCIÓN

	Página
1.1 Justificación	1
1.2 Objetivos:	3

CAPÍTULO DOS INTRODUCCIÓN

2.1 Antecedentes	6
Industria del petróleo.....	14
2.2.1 Clasificación de pozos	14
2.2.2 Refinación.....	14
2.2.2.1 Procesos de destilación del petróleo crudo.....	16
2.2.2.2 Procesos de desintegración.....	17
2.2.2.3 Procesos de purificación	17
2.3 Emisiones al aire.....	18
2.4 Análisis de riesgos	21
2.4.1 Ventajas de un programa de análisis de riesgos.....	25
2.4.2 Limitaciones de las técnicas de análisis de riesgos	25
2.4.3 Manejo de riesgos ambientales	26
2.5 Administración de riesgos	29
2.6 Técnicas de análisis de riesgos.....	33
2.6.1 Técnica HAZOP	35

2.6.1.1 Metodología para el estudio HAZOP.	35
2.6.2 Análisis por Árbol de Fallas (FTA).....	44
2.6.2.1 Metodología para el Análisis de Árbol de Fallas.....	45
2.6.3 Análisis de Consecuencias o Efectos	49
2.6.3.1 Modelos para análisis de consecuencias.....	50
2.6.3.2 Ecuaciones de modelamiento	51

CAPÍTULO TRES TRABAJO EN CAMPO

3.1 Definición del alcance y objetivos	60
3.2 Selección del equipo de trabajo.....	60
3.3 Trabajo preparatorio	61
3.3.1 Descripción del proceso de Hidrodesulfuración	61
3.3.1.1 Sección de reacción.....	67
3.3.1.2 Compresores de recirculación GB-2001 A/B.	69
3.3.1.3 Sección de estabilización y fraccionamiento	70
3.3.1.4 Torre desbutanizadora DA-2001	71
3.3.2 Hojas de seguridad de las sustancias involucradas	72
3.3.2.1 Hoja de seguridad del Hidrogeno	73
3.3.2.2 Hoja de seguridad del Sulfuro de Hidrógeno.....	75
3.4 Estudio HAZOP	78
3.4.1. Registros de estudio HAZOP Torre desbutanizadora.....	79
3.4.2. Registros de estudio HAZOP Sección de Reacción.....	84
3.5 Análisis de Árbol de Fallas	88
3.6 Resultados del análisis de consecuencias	91
3.6.1 Datos necesarios para el análisis	91

CAPÍTULO CUATRO RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados del análisis HAZOP.....	95
4.1.1 Análisis de las recomendaciones.....	97
4.2 Resultados del análisis de Árbol de Fallas.....	97
4.2.1 Conclusiones del análisis del árbol de fallas.....	98
4.3 Resultados del análisis de consecuencias	99
4.3.1 Conclusiones del análisis de consecuencias.....	102
Bibliografía.....	105

APÉNDICES

Apéndice A.....	108
Apéndice B.....	112
Apéndice C.....	114

ÍNDICE DE TABLAS

		página
2.1	Productos primarios de la refinación del petróleo	16
2.2	Procesos y operaciones de una refinería de petróleo	18
2.3	Principales emisiones al aire de una refinería de petróleo	19
2.4	Emisiones y Descargas 2001, industria petrolera.	21
2.5	Emisiones al aire y descargas al agua	21
2.6	Elementos de un programa de administración de riesgos	31
2.7	Métodos comparativos.	34
2.8	Índices de Riesgos	34
2.9	Métodos Generalizados	34
2.10	Matriz de desviaciones	40
2.11	Niveles de Frecuencia	42
2.12	Niveles de gravedad	42
2.13	Matriz de riesgos	43
2.14	Clases de riesgos	43
2.15	Nombres, usos y símbolos de las compuertas lógicas usadas en árbol de fallas.	48
2.16	Relación de distancia escalada y presión en una explosión	58
3.1	Condiciones de operación de compresores	70
3.2	Descripción de los escenarios potenciales de accidente	89
3.3	Potencial de pérdida y pérdida máxima probable	90
4.1	Plan de trabajo resultante del análisis HAZOP de la planta Hidrodesulfuradora de Naftas	95
4.2	Lista de buenas practicas de operación que se realizan y deben seguir fomentándose.	96
4.3	Efectos de radiación térmica	100
4.4	Niveles de sobrepresión	100
4.5	Evaluación de daños en plantas y refinerías por efectos de sobrepresión	101
B1	Reglas Booleanas de uso frecuente en el análisis de árbol de fallas	112

ÍNDICE DE FIGURAS

		página
1.1	Crecimiento económico	2
2.1	Administración y reducción de riesgos	32
2.2	Proceso de la metodología HAZOP	38
2.3	Triangulo de fuego	51
3.1	Cargado convencional del catalizador IMP-DSD-3+ reactor DC-2001	68
4.2	Naturaleza de las recomendaciones	97

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

3.1	Diagrama de flujo de proceso	Apéndice C
3.1A	Diagrama de flujo de proceso	Apéndice C
3.2	Diagrama de la Sección de reacción	Apéndice C
3.3	Diagrama de la Sección de gas amargo y fraccionamiento	Apéndice C
3.3A	Diagrama de la Sección de gas amargo y fraccionamiento	Apéndice C
3.4	Diagrama de árbol de Fallas	Apéndice C
3.5	Diagrama de círculos de afectación Incendio Tardío	Apéndice C
3.6	Diagrama de círculos de afectación Incendio Tardío Explosión de una nube de vapor no confinada.	Apéndice C

LISTA DE ABREVIATURAS GENERALES

ASME	American Society Mechanics Engineers <i>(Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)</i>
ASTM	American Society of Testing Materials <i>(Sociedad Americana de Pruebas Mecánicas)</i>
BLEVE	Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion <i>(Explosión de líquido hirviendo por vapor en expansión)</i>
CAS	Chemical Abstracts Sistem <i>(Sistema de Resumen Químico)</i>
DFP	Diagrama de Flujo de Proceso
DMC	Diámetro Máximo Catastrófico
DMP	Diámetro Máximo Probable
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
EPA	Environmental Protection Agency <i>(Agencia de Protección Ambiental)</i>
FATV	Fracción Adiabática Teórica Vaporizada
F.M.	Factor de Material
TMP	Terminal Mantima Pajantos
IMP	Instituto Mexicano del Petroleo
CRETIB	Codigo de Clasificación de las características que contienen los residuos peligrosos y que significan: corrosivo, reactivo, explosivo, toxico, inflamable y biologico infeccioso.
SNR	Sistema Nacional de Refinerías
NIOSH	National Institute of Occupational Safety and Health <i>(Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional e Higiene)</i>
RTECS	Registry of Toxic Effects of Chemicals <i>(Registro de Efectos Tóxicos de Químicos)</i>
STCC	Standard Transportation Commodity Code <i>(Código de normas de Transportación de Mercancías)</i>
TLV	Threshold Limit Values <i>(Umbral de Valor Limite sin que se presenten efectos adversos en el personal expuesto)</i>
TLV-CL	Threshold Limit Values - Ceiling Limit <i>(Umbral de Valor Limite – Limite Cerrado. Concentración que no debe de ser excedida durante una jornada de trabajo)</i>

TLV-STEL	Threshold Limit Values - Short Term Exposure Limit <i>(Umbral de Valor Límite – LÍMITE de Exposición en periodos cortos de tiempo. Concentración que no debe de excederse en 15 minutos de una jornada de trabajo)</i>
TLV-TWA	Threshold Limit Values - Time Weighted Concentration Age <i>(Umbral de Valor Límite - Tiempo de exposición del trabajador 8 h diarias y 40 h a la semana sin que se presenten efectos adversos en el personal expuesto)</i>
TNT	Trinitrotolueno
UVCE	Unconfined Vapor Cloud Explosion <i>(Explosión de Nubes de Vapor no Confinadas)</i>
UEL	Upper Explosive Limit <i>(Límite Superior de Inflamabilidad)</i>

LISTA DE ABREVIATURAS DE INSTRUMENTACIÓN DE PROCESO

FRC	FLOW REGISTER CONTROL <i>Control Registrador de Flujo</i>
FRCV	FLOW REGISTER CONTROL VALVE <i>Válvula de Control Registradora de Flujo</i>
LAH	LEVEL ALARM HIGH <i>Alarma de alto nivel</i>
LCV	LEVEL CONTROL VALVE <i>Válvula de Control de Nivel</i>
LG	LEVEL GLASS <i>Vidno de Nivel</i>
LLA	LOW LEVEL ALARM <i>Alarma de bajo nivel</i>
PRC	PRESSURE REGISTER CONTROL <i>Control Registrador de Presión</i>
PSV	PRESSURE SECURITY VALVE <i>Válvula de Seguridad de Presión</i>
TRC	TEMPERATURE REGISTER CONTROL <i>Control Registrador de Temperatura</i>
TPVC	TEMPERATURE REGISTER CONTROL VALVE <i>Válvula de Control Registradora de Temperatura</i>

RESUMEN

En México son cada vez más las empresas que se preocupan por cumplir con las reglamentaciones en materia de salud, seguridad y ambiente.

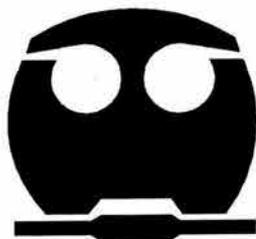
Dentro de este trabajo podemos encontrar, un recorrido a través de un Análisis de Riesgos de Proceso realizado a la sección de reacción y desbutanización de una planta Hidrodesulfuradora de Naftas por medio de técnicas sistemáticas como un Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP) la cual identifica los riesgos de operabilidad, un Análisis de Árbol de Fallas, que cuantifica la probabilidad y frecuencia de ocurrencia de algún evento culminante seleccionado, y un Análisis de Consecuencias que determina los efectos de un accidente potencial identificado, toda esta información nos sirve de base para proponer acciones específicas para mitigarlos.

Los escenarios y eventos seleccionados son el resultado del HAZOP realizado con ayuda del personal de operación de la planta, y muestran las áreas en las cuales la planta presentó una alta probabilidad de ocurrencia de algún accidente.

La información previamente recopilada sobre el proceso, la actualización de Diagramas de Flujos de Proceso y Diagramas de Tubería e Instrumentación, la formación del equipo multidisciplinario son necesarios para llevar a cabo un Análisis que represente la situación actual de la planta en estudio, el resultado final es un plan de trabajo en el cual se incluyen una serie de recomendaciones tanto preventivas como correctivas para obtener un nivel de seguridad alto.

Finalmente es importante mencionar que no basta con realizar el Análisis de Riesgos sino es necesario llevar a cabo cada una de las recomendaciones que resulten del Análisis para obtener beneficios para la salud y seguridad de los trabajadores, protección al ambiente y la operación de la planta.

CAPÍTULO UNO:
INTRODUCCIÓN.





1.1 Justificación

En México la construcción de las refinerías se inició en 1909, en Veracruz, pero no fue sino hasta finales de los veinte cuando se realizaron los primeros diseños para plantas de destilación primaria, con base a un crudo de una composición determinada.

Las diferentes características de los crudos han obligado a los investigadores a diseñar y operar plantas con mayor flexibilidad, a modificarlas en muchos casos o a diversificar diseños con los márgenes necesarios para el procesamiento de mezclas de rangos de composición más amplios.

El descubrimiento de los yacimientos del sureste de crudo Maya, de alta densidad y alto porcentaje de productos agresivos, planteó nuevos problemas a las refinerías porque los asfaltenos, presentes en gran porción en este crudo, son sustancias que aceleran la corrosión de los materiales de las plantas.

Los bajos rendimientos de destilación del crudo pesado tuvieron influencia en el diseño de las plantas y el manejo de productos.

Fue así como este crudo obligó a buscar la mejor forma de tratarlo, mezclado con crudo ligero Istmo, en porciones que no sobrepasaran 30 por ciento, con alguna excepción, donde se ha procesado crudo con 60 % de Maya.

Condiciones mercantiles y tecnológicas han obligado a los especialistas mexicanos a buscar mejoras en los productos, a la vez que sean menos dañinos para la atmósfera y la salud humana.

En cuanto a los procesos y equipo, la industria ha ido avanzando de acuerdo a las necesidades del consumo.

La tendencia a mejorar las condiciones de la industria no solo implica evitar el despilfarro del petróleo y sus derivados, sino también buscar el uso racional para aprovechar al máximo su procesamiento industrial.

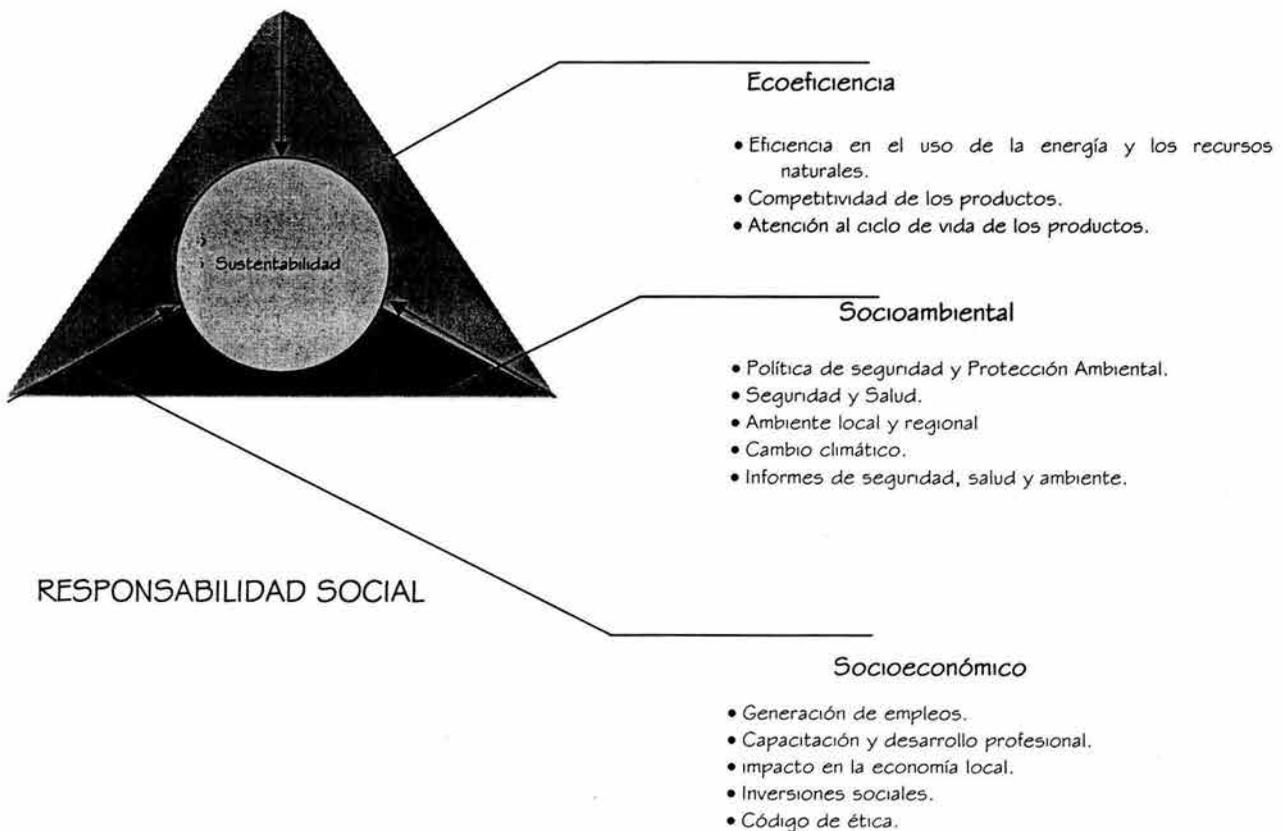
En la actualidad se¹⁰ ha adoptado el desarrollo sustentable como elemento de transformación. El éxito económico ya no es suficiente para que una empresa conserve su



dinamismo, para lograr un desarrollo permanente se requiere mantener un equilibrio entre el progreso económico, la calidad de vida de la población y la conservación del ambiente y los recursos naturales.

La aplicación de este concepto en la empresa tendrá como resultado la creación de valor, generando un entorno más favorable para su operación y desarrollo en el largo plazo.

Figura 1.1 CRECIMIENTO ECONOMICO



Con lo cual se ha iniciado la implantación de una cultura en Seguridad, Salud y Protección Ambiental cuya política manifiesta que se debe *“Ser una empresa eficiente y competitiva que se distinga por el esfuerzo y compromiso de sus trabajadores con la Seguridad, Salud y Protección Ambiental”*



De acuerdo con esta política de seguridad las empresas se han dado a la tarea de implementar Sistemas Integrales de Administración de la Seguridad y la Protección al Ambiental (SIASPA).

El SIASPA esta integrado por 18 elementos relacionados con el factor humano, los sistemas de trabajo y las instalaciones.

El elemento número 12 corresponde a los análisis de riesgos y tiene los siguientes objetivos:

- ✚ Identificar riesgos a la salud, integridad física, al 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 controlarlo y reducirlos a niveles aceptables.
- ✚ Reducción significativa de incidentes 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 la confiabilidad de los equipos de proceso.
- ✚ Establecer los planes de emergencia y medidas de protección.

Para cumplir con esto se acordó llevar a cabo con personal de la UNAM el estudio de análisis de riesgos en la planta Hidrodesulfuradora de Naftas, para de este modo cumplir con el elemento número 12 del SIASPA.

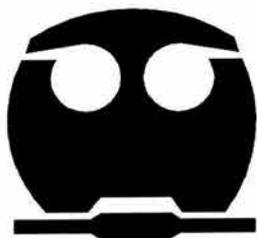


1.2 Objetivos:

Los principales objetivos de esta tesis son:

- ✦ Identificar los peligros y evaluar los riesgos de proceso potenciales en la planta Hidrodesulfuradora de Naftas y establecer las medidas de protección requeridas para minimizar y controlarlos.
- ✦ Elaborar un plan de trabajo como resultado del Análisis de Riesgos que permita mejorar la operación y la seguridad de la planta.
- ✦ Realizar un Análisis de Consecuencias de un escenario hipotético y proponer medidas de protección para minimizar sus posibles efectos.
- ✦ Promover la cultura de seguridad como base del desempeño óptimo de la planta; así como para el bienestar de los trabajadores.

CAPÍTULO DOS:
MARCO TEORICO





2.1 Antecedentes ⁽¹⁾⁽²⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

Después de lo ocurrido en la planta de Union Carbide's en Bhopal, India, la presión pública provocó que los gobiernos de Estados Unidos y Europa organizaran las reglamentaciones de sus industrias químicas y de petróleo.

Las empresas del rango químico por su parte han respondido, en general debido a las demandas de la sociedad, dando origen a la aparición de Programas de Gestión Medio-Ambiental y de Seguridad que se van extendiendo paulatinamente a la mayor parte de la industria química. Así se ha originado una creciente preocupación por aplicar métodos sistematizados para eliminar o reducir los riesgos, ya que, la sociedad en general exige una industria cada vez más limpia y menos peligrosa. Y no es para menos, experiencias como la de Bhopal, India, considerada como la catástrofe de mayor escala a nivel mundial, y los acontecimientos ocurridos en San Juan Ixhuatepec aquí en México, ha originado mayor conciencia acerca de esta industria y de lo que se realiza dentro de ella.

Dentro de las reglamentaciones mexicanas sobre materia de seguridad industrial la Secretaria del Trabajo y Previsión Social publicó en la Norma oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998², relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo para el almacenamiento, transporte y manejo de sustancias inflamables y combustibles, la cual establece como obligación del patrón:

Elaborar y mantener actualizado, en cuanto a los cambios de proceso o sustancias químicas peligrosas presentes en el centro de trabajo, un estudio para analizar los riesgos potenciales de sustancias químicas peligrosas.

El estudio para analizar el riesgo potencial debe realizarse tomando en consideración lo siguiente:

- a) las características de los procesos de trabajo;



- b) las propiedades físicas, químicas y toxicológicas de las sustancias químicas peligrosas;
- c) el grado y tipo de riesgos de las sustancias, conforme a los establecido en la NOM-114-STPS-1995;
- d) las actividades peligrosas y los trabajos en espacios confinados;
- e) las zonas de riesgo del centro de trabajo y el número de trabajadores expuestos en cada zona.

De acuerdo a la NFPA 704 y a la Norma Oficial Mexicana 114 de la Secretaría de Trabajo y Previsión Social a continuación se presenta el rombo de identificación de grado de riesgo.

GRADO
4=RIESGO SEVERO
3=RIESGO SERIO
2=RIESGO MODERADO
1=LIGERO
0=MINIMO



En materia de seguridad industrial, las palabras riesgo y peligro son mencionadas continuamente sin hacer una distinción alguna; Peligro es cualquier condición física o química capaz de causar daños a las personas, al ambiente o a la propiedad y riesgo es la posibilidad de sufrir pérdidas, es decir se puede considerar como una medida de pérdida económica o daños a personas expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de sus consecuencias.

El nivel de riesgo asociado con la industria química se considera elevado por tres diferentes razones. En primer lugar, el tipo de materiales utilizados o producidos en las plantas químicas, en su mayoría se catalogan como peligrosos al ser tóxicos y /o corrosivos, explosivos y/ o inflamables y por este motivo, en caso de alguna fuga o derrame pudieran generar graves daños a las personas. En segundo lugar, los procesos utilizados en la industria química requieren, en algunas ocasiones, el uso de variables de



operación en condiciones extremas, y por lo tanto generan un riesgo pues en caso de falla en el equipo o en el sistema de control, pueden provocar grandes accidentes. Y finalmente los grandes volúmenes de consumo y producción en las diferentes plantas, tiene como efecto aumentar la gravedad de los accidentes que pudieran ocurrir.

También durante 1993 un grupo de compañías multinacionales líderes iniciaron el desarrollo de normas ambientales internacionales bajo el auspicio de la Organización Internacional para la Normalización (ISO) que tiene su sede en Ginebra, Suiza. La idea de las normas internacionales sobre administración ambiental que tan solo hace algunos años se hubiera visto como algo poco creíble, muestra hoy en día un gran avance hacia su adopción final.

Las normas de la serie ISO 14000 son de dos tipos:

- 1) las normas sobre sistemas de administración, y
- 2) las normas relacionadas con los productos.

Solamente una de las normas proporciona la información para una certificación y es el caso de la ISO 14001-Sistemas de Administración Ambiental (SAA).

El modelo del SAA requiere que la organización (e.g. la planta de la manufactura) establezca una política escrita con los compromisos para:

- 1) el cumplimiento de las regulaciones,
- 2) la prevención de la contaminación,
- 3) la mejora continua

La norma requiere que la organización documente su SAA y cumpla con los requerimientos específicos en su implementación tales como capacitación, entrenamiento, comunicación y procedimientos para el control operacional, además requiere que la organización establezca un sistema formal (auditoria) para verificar que sus operaciones cumplen o estén en conformidad con las normas ISO 14001 y un sistema para corregir y prevenir los no cumplimientos o inconformidades.



Durante los pasados años, la difícil situación económica de México ha restringido severamente la capacidad del gobierno y de la industria para continuar avanzando, al mismo o mayor ritmo del que se tenía, sobre los aspectos críticos de la calidad ambiental. A pesar de estos retos, México continúa dando una alta prioridad a la protección y mejora ambiental a través de una mezcla interesante de iniciativas ambientales obligatorias y voluntarias.

Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente⁵

Artículo 1. La presente ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico así como, la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción.

I.- Garantizar el derecho de toda persona a vivir en un ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar;

VI.- La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;

Ambiente: El conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y el desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

Contaminación: La presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico.

Contaminante: Toda materia o energía en cualesquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento natural, altere o modifique su composición o condición natural.

Contingencia ambiental: Situación de riesgo, derivada de actividades humanas o fenómenos naturales, que puede poner en peligro la integridad de uno o varios ecosistemas.

Desequilibrio ecológico: La alteración de las relaciones de interdependencia entre los elementos naturales que conforman el ambiente y aprovechamiento de los recursos



naturales y la protección al ambiente, que afecta negativamente la existencia, la transformación y desarrollo del hombre y de los seres vivos.

Impacto ambiental: Modificación del ambiente ocasionada por la acción del hombre o de la naturaleza.

Material peligroso: Elementos, sustancias, compuestos, residuos o mezclas de ellos que, independientemente de su estado físico, represente un riesgo para el ambiente, la salud o los recursos naturales, por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas.

Prevención: El conjunto de disposiciones y medidas anticipadas para evitar el deterioro del ambiente.

Protección: El conjunto de políticas y medidas para mejorar el ambiente y controlar su deterioro;

Residuo: Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control, o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó.

Residuos peligrosos: Todos aquellos residuos, en cualquier estado físico que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables o biológico-infecciosas, representen un peligro para el equilibrio ecológico o el ambiente.

Evaluación del impacto ambiental⁵

La evaluación del impacto ambiental es el procedimiento a través del cual la Secretaría establece las condiciones a que se sujetará la realización de obras y actividades que puedan causar desequilibrio ecológico o rebasar los límites y condiciones establecidos en las disposiciones aplicables para proteger el ambiente y preservar y restaurar los ecosistemas, a fin de evitar o reducir al mínimo sus efectos negativos sobre el ambiente. Para ello, en los casos que determine el Reglamento que al efecto se expida, quienes



pretendan llevar a cabo alguna de las siguientes obras o actividades, requerirán previamente la autorización en materia de impacto ambiental de la Secretaría.

- I. Obras hidráulicas, vías generales de comunicación, oleoductos, gasoductos, carboductos y poliductos.
- II. Industria del petróleo, petroquímica, química, siderúrgica, papelera, azucarera, del cemento y eléctrica.

Para obtener la autorización a la que se refiere el artículo 28 de la Ley General del Equilibrio ecológico y Protección al Ambiente, los interesados deberán presentar a la Secretaría una manifestación de impacto ambiental, la cual deberá contener, por lo menos una descripción de los posibles efectos en el o los ecosistemas que pudieran ser afectados por la obra o la actividad de que se trate, considerando el conjunto de los elementos que conforman dichos ecosistemas, así como las medidas preventivas, de mitigación y las demás necesarias para evitar y reducir al mínimo los efectos negativos sobre el ambiente.

De acuerdo con el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental¹⁴; las manifestaciones de impacto ambiental deberán presentarse en las siguientes modalidades:

- I. Regional,
- II. Particular

Las manifestaciones de impacto ambiental se presentarán en la modalidad regional cuando se trate de:

- I. Parques industriales y acuícolas, granjas acuícolas de más de 500 hectáreas, carreteras y vías férreas, proyectos de generación de energía nuclear, presas y, en general, proyectos que alteren las cuencas hidrológicas;
- II. Un conjunto de obras o actividades que se encuentren incluidas en un plan o programa parcial de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que sea sometido a



consideración de la Secretaría en los términos previstos por el artículo 22 de este reglamento;

III. Un conjunto de proyectos de obras y actividades que pretendan realizarse en una región ecológica determinada, y

IV. Proyectos que pretendan desarrollarse en sitios en los que por su interacción con los diferentes componentes ambientales regionales, se prevean impactos acumulativos, sinérgicos o residuales que pudieran ocasionar la destrucción, el aislamiento o la fragmentación de los ecosistemas. En los demás casos, la manifestación deberá presentarse en la modalidad particular.

La Secretaría de Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca se encargará de formular, publicar y poner a disposición del público las guías para la presentación del informe preventivo, la manifestación de impacto ambiental en sus diversas modalidades y el estudio de riesgo;

La guía para la presentación de la manifestación de impacto ambiental, modalidad particular para el Sector Petrolero, ofrece un conjunto de orientaciones y criterios de aceptación general que pueden ser utilizados por los promoventes de actividades o proyectos petroleros para integrar sus Manifestaciones de Impacto Ambiental. Es un documento de referencia e indicativo por lo que el promovente podrá adicionar aquella información que sustente sus apreciaciones o que complemente la que se detalla en el texto.

La aplicación de esta guía no es obligatoria, sin embargo, como su nombre lo indica, es una orientación que pretende servir al promovente para alcanzar una integración mas ordenada, eficiente y completa de los resultados de los estudios que hubiera realizado para evaluar el impacto ambiental de su iniciativa.

Normas Oficiales Mexicanas en Materia ambiental

Para garantizar la sustentabilidad de las actividades económicas. La Secretaría emitirá normas oficiales mexicanas en materia ambiental y para el aprovechamiento sustentable de los recursos naturales que tengan por objeto:



I Establecer los requisitos, especificaciones, condiciones, procedimientos, metas, parámetros y límites permisibles que deberán observarse en regiones, zonas, cuencas o ecosistemas, en aprovechamiento de recursos naturales, en el desarrollo de actividades económicas, en el uso y destino de bienes, en insumos y en procesos

Pueden ser de importancia para el sector petrolero las siguientes:

- ✚ Norma oficial mexicana NOM-137-SEMARNAT-2003.- contaminación atmosférica.- plantas desulfuradoras de gas y condensados amargos.- control de emisiones de compuestos de azufre.
- ✚ Norma oficial mexicana NOM-085-ECOL-1994, Contaminación atmosférica fuentes fijas.- para fuentes fijas que utilizan combustibles fósiles sólidos, líquidos o gaseosos o cualquiera de sus combinaciones, que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de humos, partículas suspendidas totales, bióxidos de azufre y óxidos de nitrógeno y los requisitos y condiciones para la operación de los equipos de calentamiento indirecto por combustión, así como los niveles máximos permisibles de emisión de bióxido de azufre en los equipos de calentamiento directo por combustión.
- ✚ Norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-93, Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.
- ✚ Norma oficial mexicana NOM-043-ECOL-1993, Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de partículas sólidas provenientes de fuentes fijas.
- ✚ Norma oficial mexicana NOM-075-ECOL-1995, Que establece los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera de compuestos orgánicos volátiles provenientes del proceso de los separadores agua-aceite de las refinerías de petróleo.



- ↓ Norma oficial mexicana NOM-086-ECOL-1994, Contaminación atmosférica-especificaciones sobre protección ambiental que deben reunir los combustibles fósiles líquidos y gaseosos que se usan en fuentes fijas y móviles.

Industria del petróleo⁹

2.2.1 Clasificación de pozos

Los pozos productores de petróleo se clasifican en fluyentes y de producción artificial o bombeo. Los primeros son aquellos en los que el aceite surge del yacimiento al exterior por energía natural, que puede ser de empuje hidráulico o de gas. Los de producción artificial o bombeo son un sistema de explotación que aplica cuando la presión no es suficiente para que el petróleo fluya hasta la superficie.

2.2.2 Refinación

Es el conjunto de una serie de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo, la materia prima para obtener de él por destilación, los diversos hidrocarburos o las familias de hidrocarburos con propiedades físicas y químicas bien definidas.

Después de la separación se aplican a los derivados así obtenidos diversos procesos de conversión para obtener de ellos productos más valiosos y finalmente estos se someten a tratamientos para eliminar las impurezas que los hacen impropios para su empleo comercial.

El aceite crudo tiene rendimientos variables en el proceso de destilación y fraccionamiento, a determinadas condiciones de presión y temperatura.

Por lo tanto es necesario ajustar los rendimientos y características de las fracciones o cortes que constituyen los diferentes compuestos, al mencionado patrón de consumo del país. Este ajuste se hace sometiendo las fracciones a los diversos procesos de conversión con objeto de obtenerla producción que el mercado requiere.



Es por la aplicación de estos procesos como la refinación puede poner a disposición del consumidor, una amplia gama de productos comerciales:

- ✦ Energéticos; combustibles específicos para los transportes, la agricultura, la industria, la generación de corriente eléctrica para uso doméstico.
- ✦ Productos especiales; lubricantes, parafinas, asfaltos, grasas para vehículos, construcción y uso industrial.
- ✦ Materias primas para la industria petroquímica básica



Tabla No. 2.1 Productos primarios de la refinación del petróleo

Categoría	Producto
Combustibles	Gasolina de motor
	Diesel
	Petróleo refinado
	Gas licuado
	Combustible para avión
	Kerosina
	Coque
Productos terminados no combustibles	Solventes
	Aceites lubricantes
	Grasas
	Ceras de petróleo
	Jaleas de petróleo
	Asfalto
Materias primas para la industria química	Nafta
	Etano
	Propano
	Butano
	Etileno
	Propileno
	Butileno
	Butadieno
	Benceno
	Tolueno
Xileno	



2.2.2.1 Procesos de destilación del petróleo crudo

El petróleo crudo está formado por varios hidrocarburos que comprenden desde gas licuado hasta el asfalto. Su separación en columnas de destilación se realiza por las diferencias de volatilidad que tienen unos de otros. El procedimiento utilizado consiste en calentar el petróleo crudo a una temperatura en que los componentes mas ligeros se evaporan , para ser enseguida condensados.

De esta manera se obtienen distintos condensados cuyas propiedades corresponden a las de gas licuado, gasolinas, kerosinas o combustibles diesel.

2.2.2.2 Procesos de desintegración

El residuo de la destilación del petróleo crudo se somete a una nueva destilación al alto vacío para separar componentes menos volátiles, que de acuerdo con las propiedades del petróleo crudo de que se trate, serán destilados a lubricantes o a ser desintegrados catalíticamente,. El residuo de la destilación al vacío es asfalto, o bien carga para la planta de coque o para la hidrodesintegradora de residuales y la subsecuente obtención de destilados.

2.2.2.3 Procesos de purificación

Estos procesos eliminan de los productos obtenidos por destilación o por desintegración, algunos compuestos que les causan propiedades inconvenientes. Los principales contaminantes en estos procesos son los compuestos derivados del azufre. Los inconvenientes que presentarían los derivados del petróleo sin estos tratamientos, serían mal olor y contaminación de la atmósfera al ser quemados.



Tabla No. 2.2 Procesos y operaciones de una refinería de petróleo

Procesos	Operaciones relacionadas
Procesos de separación	Destilación atmosférica Destilación al vacío Recuperación de productos livianos (procesamiento de gas)
Procesos de conversión	Craqueo catalítico Reforma Alquilación Polimerización Isomerización Coqueo Craqueo termal
Procesos de tratamiento	Hidrodesulfuración Hidrotratamiento Dulcificación química Remoción de gases ácidos Desasfaltado
Manejo de materias primas	Almacenamiento Mezclado Carga Descargas
Sistemas auxiliares	Calderas Producción de hidrógeno Planta de recuperación azufre



2.3 Emisiones al aire

En la tabla 2.3 se presentan las principales emisiones al aire según el proceso utilizado en la refinación del petróleo.

Tabla No. 2.3 Principales emisiones al aire en la industria de la refinación del petróleo

Proceso	Emisiones al aire
Desalinización del petróleo crudo	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), emisiones fugitivas (hidrocarburos).
Destilación atmosférica	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), emisiones fugitivas (hidrocarburos).
Destilación al vacío	Corriente eyectora de emisiones (hidrocarburos), gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), ventilación y emisiones fugitivas (hidrocarburos).
Descomposición térmica	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), descargas y emisiones fugitivas (hidrocarburos).
Coqueo	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), descargas y emisiones fugitivas (hidrocarburos), descargas y emisiones fugitivas (hidrocarburos) y emisiones del proceso de descoque (hidrocarburos y particulado).
Descomposición catalítica	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), emisiones fugitivas (hidrocarburos), y regeneración catalítica (CO, SO _x , NO _x , y particulados)



Hidrodeshcomposición catalítica	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), emisiones fugitivas (hidrocarburos), y regeneración catalítica (CO, SO _x , NO _x , y polvo del catalizador).
Hidrotratamiento / Hidroprocesamiento	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), descargas y emisiones fugitivas (hidrocarburos), y regeneración catalítica (CO, SO _x , NO _x)
Alquilación	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), emisiones fugitivas (hidrocarburos)
Isomerización	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), HCl (potencialmente en gases livianos), descargas y emisiones fugitivas (hidrocarburos).
Polimerización	H ₂ S del lavado cáustico.
Reformación catalítica	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), emisiones fugitivas (hidrocarburos), y regeneración catalítica (CO, SO _x , NO _x).
Extracción de solventes	Solventes fugitivos.
Desencerado	Solventes fugitivos, calentadores
Desasfaltación por propano	Gran cantidad de gas caliente (CO, SO _x , NO _x , hidrocarburos y particulado), propano fugitivo.
Tratamiento Meros	Descargas y emisiones fugitivas (hidrocarburos y disulfuros).
Tratamiento de aguas residuales	Emisiones fugitivas (H ₂ S, NH ₃ , e hidrocarburos).
Tratamiento de gas y recuperación de azufre	SO _x , NO _x , y H ₂ S de descarga y las ultimas emisiones de gas.



Las emisiones y descargas totales^b de la industria petrolera incluyen emisiones al aire, descargas al agua, generación de residuos y fugas y derrames de hidrocarburos.

Las emisiones al aire incluyen los principales compuestos generados por la combustión y la evaporación de hidrocarburos, así como los producidos por la combustión de corrientes gaseosas y líquidas que contienen azufre.

Las descargas al agua incluyen los compuestos sujetos al control por la normatividad ambiental vigente, y que se encuentran presentes en las corrientes de agua como resultado de su utilización en el procesamiento de hidrocarburos y petroquímicos. Se registran tres parámetros: grasas y aceites (GyA), sólidos suspendidos totales (SST) y nitrógeno total (N_{tot}). Existe un cuarto parámetro (Otros) que incluye los sulfuros, fenoles y metales pesados.

Finalmente en fugas y derrames de hidrocarburos se registran los ocurridos en mar y tierra.

Tabla No 2.4 Emisiones y descargas 2001, industria petrolera.^b

	Emisiones al aire	Descargas al agua	Generación de residuos peligrosos	Fugas y derrames de hidrocarburos
Toneladas	460,413	2,658	40,277	2,071

Tabla No. 2.5 Emisiones al aire y descargas al agua

	Emisiones al aire				Descargas al agua			
	SO _x	NO _x	PST	COT	GyA	SST	N _{TOT}	OTROS
TON	376.483	25193	19937	38800	651	1274	689	44



2.4 Análisis de riesgos ⁽¹⁾⁽¹²⁾

El proceso de manejo de riesgos tiene por objetivo proveer las herramientas necesarias para eliminarlos o prevenir y controlar sucesos indeseados. Un proceso efectivo de un programa de manejo de seguridad requiere un acercamiento sistemático para la evaluación del proceso global.

Usando este acercamiento, todos los elementos que impactan el proceso y su seguridad deben ser considerados en la evaluación:

- ✚ El diseño del proceso
- ✚ La tecnología empleada
- ✚ Las actividades y procedimientos operacionales (rutinarios y no rutinarios).
- ✚ Los planes y procedimientos de emergencia.
- ✚ Los programas de entrenamiento.

El proceso de manejo de la seguridad debe contener la identificación, evaluación y mitigación o prevención de descargas de sustancias químicas que pueden ocurrir como resultado de fallas en el proceso, procedimientos o equipo.

El análisis de la seguridad ayuda en la identificación de peligros potenciales y en el desarrollo de medidas para reducir el riesgo de ocurrencia. Las acciones que pueden resultar en una disminución de riesgos abarcan el proyecto en su globalidad, y pueden comprender, entre otras:

- ✚ Rediseño del proceso para disminuir el potencial de accidentes.
- ✚ Mejoramiento de la tecnología del proceso (por ejemplo: la incorporación de sistemas de seguridad)
- ✚ Mejoramiento de planes y procedimientos estándares rutinarios y de emergencia.
- ✚ Optimización de medidas de participación, entrenamiento y educación.

El análisis de riesgos es un radiografiado del sistema o de la planta que se hace con el apoyo del Diagrama de Flujo de Proceso (DFP) y de los Diagramas de Tubería e



Instrumentación (DTI) y la participación del personal de la planta para formar un grupo multidisciplinario encargado de llevar a cabo el análisis de riesgos.

En análisis de riesgos también deben tomarse en cuenta otros factores como:

1. Condiciones Climatológicas: Dirección de los vientos y velocidad media del viento, temperatura, humedad máxima y mínima e inversiones de temperatura; dados sus efectos sobre la dispersión y concentración de sustancias volátiles, inflamables o tóxicas.
2. Reacciones Químicas.
3. Condiciones de operación normales.
4. Condiciones de operación en un rango seguro y de emergencia.
5. Riesgos físicos, químicos, biológicos y psicológicos.

Después de examinar una parte del diseño y de anotar cualquier riesgo potencial relacionado con ella, el estudio pasa a la siguiente etapa. El examen se repite hasta haber estudiado toda la planta.

Los resultados de los análisis de riesgos deberán utilizarse para que se alcance un elevado nivel de seguridad y una mejora en la utilidad de la planta.

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

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

1. La precisión de los diagramas y otros datos utilizados como base para el estudio.
2. Los conocimientos técnicos y la perspicacia del grupo multidisciplinario.
3. La capacidad del grupo para utilizar el método como un medio auxiliar de su imaginación para encontrar desviaciones, causas y consecuencias.
4. La capacidad del grupo multidisciplinario para mantener una actitud prepositiva, en particular cuando se evalúa la gravedad de los riesgos de accidente encontrados.



Como el análisis es sistemático y altamente estructurado, es necesario que quienes participen en él, utilicen ciertas palabras y expresiones de una manera precisa y disciplinada.

La persona que realiza el análisis de riesgos debe tener la capacidad para conducirlo correctamente, siguiendo la metodología establecida y la habilidad para lograr la participación de todos y cada uno de los integrantes del equipo multidisciplinario de una manera prepositiva. El o los que conducen el análisis de riesgos debe tener:

- ✚ Experiencia en el uso de la técnica seleccionada.
- ✚ Habilidad para interrelacionarse y liderazgo.
- ✚ Experiencia técnica para entender el proceso o la operación de la planta.

Dependiendo de la técnica elegida y del grado de complejidad del proceso, el grupo multidisciplinario debe estar compuesto por las siguientes personas:

1. **Líder.** El líder conduce el análisis y facilita la participación del grupo. Normalmente es el de más experiencia en la aplicación de la técnica. En muchos casos el éxito del estudio depende directamente de su alta habilidad de liderazgo.
2. **Capturista.** Documenta formalmente los resultados de la discusión y participa activamente durante el análisis aunque no se requiera que tenga la experiencia del líder.
3. **Expertos.** El resto del equipo esta compuesto por personal calificado de la planta, este personal debe tener conocimientos específicos acerca de la planta en cuestión como la química del proceso, el diseño del equipo, operación, las estrategias de control o el mantenimiento del equipo.

Para la conformación del equipo multidisciplinario se deben tomar en cuenta los siguientes elementos:

- ✚ Tipo de proceso.
- ✚ Etapa del proceso
- ✚ Objetivo del análisis



- ✚ Técnica seleccionada
- ✚ Fuentes disponibles

Los integrantes del equipo deben tener experiencia práctica en operación, seguridad, mantenimiento e ingeniería, y debe conocer los procesos químicos, reglamentación ambiental y las normas de la corporación en materia de seguridad industrial.

Una vez que los objetivos y alcances han sido establecidos, el personal que realiza el análisis de riesgos selecciona la información requerida. La revisión de la información se debe hacer antes de iniciar las reuniones del análisis.

2.4.1 Ventajas de un programa de análisis de riesgos

Entre los beneficios de un análisis de riesgos podemos mencionar:

- ✚ Pocos accidentes durante la vida útil de un proceso.
- ✚ Reducción de las consecuencias de accidentes que pueden ocurrir.
- ✚ Mejoras en el entrenamiento y entendimiento del proceso.
- ✚ Operaciones más eficientes y productivas.
- ✚ Mejora en las relaciones con las leyes regulatorias y la comunidad.
- ✚ Disminución de descargas al ambiente.

Sin embargo, estos beneficios no pueden ser alcanzados sin una inversión significativa.

2.4.2 Limitaciones de las técnicas de análisis de riesgos

- ✚ Cada analista puede identificar todos los riesgos importantes, situaciones de accidentes potenciales, causas y efectos a su experiencia y a la técnica empleada.
- ✚ Muchas veces los resultados y beneficios de los estudios de análisis de riesgos no pueden ser directamente verificados y los ahorros por accidentes que son prevenidos no pueden ser fácilmente estimados.



- ✚ Los estudios de análisis de riesgos están basados sobre el conocimiento existente de un proceso o de la operación. Si el proceso químico no se conoce bien, si los diagramas de flujo pertinentes o procedimientos no son exactos o si el conocimiento disponible del proceso de un equipo de estudio no se refleja en el sistema que esta actualmente en operación, entonces los resultados de un estudio de un análisis de riesgo pueden ser dudosos. Lo anterior da origen a que el gerente tome decisiones pobres para la administración de riesgos.
- ✚ Un análisis de riesgos bien realizado depende en gran medida de quien lo conduce.

Un análisis de riesgos aunque bien realizado no garantiza que los accidentes no ocurran, si las medidas preventivas y de control no son implementadas, es decir que después del análisis se requiere de un esfuerzo importante para que realmente se reduzcan o se eliminen.

La demanda de un estudio de análisis de riesgos crece a la par con la aparición de accidentes químicos mayores, la legislación agresiva y la iniciativa reguladora de seguridad de los procesos.

El análisis de riesgos involucra el uso de técnicas cualitativas y cuantitativas para analizar fallas de equipos y errores humanos que pueden dar origen a accidentes. El análisis de riesgos debe ser realizado durante la vida útil de una planta de acuerdo al programa de Administración de Seguridad de Procesos desde la etapa de diseño conceptual, hasta la etapa de desmantelamiento.

2.4.3 Manejo de riesgos ambientales

El riesgo ambiental se define como la probabilidad de que ocurran accidentes mayores que involucren a los materiales peligrosos que se manejan en las actividades altamente riesgosas, que pueden trascender los límites de sus instalaciones y afectar adversamente a la población, los bienes, al ambiente y los ecosistemas. La evaluación de los alcances de los accidentes y la intensidad de los efectos adversos en diferentes radios de afectación. Uno de los riesgos ambientales asociado al crecimiento industrial es el uso intensivo de productos químicos que son precursores de residuos peligrosos, algunos de los cuales



tienen características de peligrosidad para la salud humana y la de los ecosistemas. La preocupación por las sustancias químicas potencialmente tóxicas se centra en aquellas que poseen propiedades de alta toxicidad, de persistencia ambiental o de bioacumulación y que son generadas por las actividades productivas.

Se ha hecho evidente que toda sustancia química puede encerrar peligros para la salud y la seguridad de los seres vivos y de el ambiente, si alcanza una concentración dada y la exposición se prolonga el tiempo suficiente para que ejerza sus efectos. De acuerdo con la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993 se consideran peligrosos aquellos residuos que presentan una o más de las siguientes características; corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamable y/o biológico infeccioso. (Código CRETIB).

Impacto en recursos hídricos

Sin lugar a dudas, una de las consecuencias más graves y de mayor preocupación que pueden generar las malas prácticas para la disposición de los residuos peligrosos, es la afectación de los recursos hídricos superficiales y subterráneos.

De los diversos compuestos químicos encontrados en aguas subterráneas, los orgánicos son los que presentan el mayor riesgo por sus efectos en el ambiente y en la salud humana. Dentro de este grupo de compuestos, los disolventes industriales y los hidrocarburos aromáticos derivados del petróleo son los más comunes.

Riesgos de salud ambiental

La toxicidad de una sustancia se determina de acuerdo con los efectos letales, crónicos o subcrónicos que pueden presentar en diferentes organismos o blancos ambientales. Sin embargo se resaltan generalmente los efectos adversos potenciales de las sustancias sobre la salud humana. Entre los parámetros de toxicidad comúnmente evaluados se destacan los siguientes:

- Letalidad aguda
- Efectos subletales en especies no mamíferas
- Efectos subletales en plantas



- Efectos subletales en mamíferos
- Teratogenicidad
- Genotoxicidad / Mutagenicidad
- Carcinogenicidad

Se debe monitorear registrar la exposición de trabajadores sustancias químicas peligrosas para asegurar su seguridad y salud se debe verificar que los trabajadores no estén expuestos a las sustancias químicas por una extensión que exceda los límites permisibles u otros criterios de exposición para la evaluación y el control del ambiente de trabajo. Basado en los datos de monitoreos, se debe evaluar la exposición de los trabajadores a las sustancias químicas peligrosas. Las concentraciones en el aire deben ser medidas en todos los lugares de trabajo, donde sea pertinente asegurar la seguridad y salud de los trabajadores contra los riesgos de inhalación.

Las técnicas para la evaluación de este riesgo pueden incluir la información de los peligros intrínsecamente físicos y a la salud, obtenidos desde la hoja de datos de seguridad química, una estimación de la exposición basada en los métodos y pautas de trabajo; un aviso desde el proveedor, la experiencia de exposición en el lugar de trabajo.

Los sistemas de auditoria y monitoreo deben realizar para asegurar que: la salud de los trabajadores es eficientemente protegida, las acciones preventivas que son tomadas son aun efectivas; los niveles, como los previamente medidos, permanecen inalterados o han disminuido; cualquier cambio echo en los procesos de ,manufactura o practicas laborales no conducirá a exposiciones excesivas de sustancias químicas peligrosas; y por último, promover la implementación de medidas preventivas mas eficientes

Descripción de los tipos de accidentes mayores.

- Cualquier liberación de una sustancia peligrosa en la que la cantidad total liberada sea mayor a la que se haya fijado como umbral o límite (cantidad de reporte o control).



- Cualquier fuego mayor que provoque una elevación térmica en el lugar o límite de la planta o instalación, que exceda de 5KW/m^2 por varios segundos.
- Cualquier explosión de una sustancia reactiva o explosiva que pueda afectar a edificios o plantas, en la vecindad inmediata, tanto como para dañarlos o volverlos inoperantes por un tiempo.
- Cualquier liberación de sustancias tóxicas, en la que la cantidad liberada pueda ser suficiente para alcanzar una concentración igual o por arriba del nivel que representa un peligro inmediato para la vida o la salud humana (DLH por sus siglas en inglés) en áreas aledañas a la fuente emisora.
- En el caso de transporte, se considera como un accidente el que involucre la fuga o derrame de cantidades considerables de materiales o residuos peligrosos que puedan causar la afectación de la salud de la población y/o del ambiente.

2.5 Administración de riesgos¹²

LA RESPONSABILIDAD QUE DEBE TENER LA DIRECCIÓN EN UNA PLANTA O INSTALACIÓN.

Las instalaciones que presentan riesgos de accidentes mayores tienen que funcionar con un nivel muy alto de seguridad. Este es el cometido de la dirección. Además, la dirección desempeña un papel esencial en la organización de la aplicación de un sistema de prevención y control de accidentes mayores, en otras a la dirección le corresponde.

1. Proporcionar la información necesaria para determinar las instalaciones que tienen riesgos de accidentes mayores.
2. Llevar a cabo la evaluación del riesgo.
3. Informar a la autoridades de los resultados de la evaluación del riesgo.
4. Establecer un plan de emergencia.
5. Proporcionar los recursos necesarios para adoptar las medidas preventivas para mejorar la seguridad de la planta



La Administración debe tener conciencia de la naturaleza del riesgo, de los acontecimientos que causan accidentes y de las consecuencias potenciales de esos accidentes.

Esto significa que para controlar con éxito un riesgo importante, la dirección debe contestar a las siguientes preguntas:

1. ¿Las sustancias tóxicas, explosivas o inflamables constituyen un riesgo importante en nuestras instalaciones?
2. ¿Qué deficiencias o errores pueden ocasionar condiciones anormales como insuficiente alumbrado, alto nivel de ruido, atmósfera contaminada, calor excesivo, etc?
3. Si se produce un accidente importante ¿Cuáles son las consecuencias de un incendio, una explosión o un escape de sustancias tóxicas para los empleados, las personas que viven fuera de la planta o el ambiente?
4. ¿Qué puede hacer la empresa para impedir que esos accidentes se produzcan?
5. ¿Que se puede hacer para mitigar las consecuencias de un accidente? (incidentes, explosión, emisión de sustancias tóxicas).

La agencia de protección ambiental de Estados Unidos de Norteamérica (EPA) ha desarrollado e implementado un programa de administración de riesgos para las instalaciones que fabrican, usan o almacenan sustancias químicas peligrosas.

Estas sustancias han sido reguladas por la EPA con el fin de reducir el impacto potencial de las instalaciones sobre las comunidades circunvecinas. Estos programas deben incluir métodos de evaluación de riesgos potenciales a la comunidad que identifiquen y modelen las consecuencias de escenarios de descargas, así como también, desarrollen un registro histórico de incidentes y accidentes de por lo menos 5 años. Los resultados de la evaluación pueden ser usados para implementar estrategias de reducción de riesgos y para definir el nivel de respuesta de emergencia necesaria.



ELEMENTOS QUE DEBE TENER UN PROGRAMA DE ADMINISTRACIÓN DE SEGURIDAD

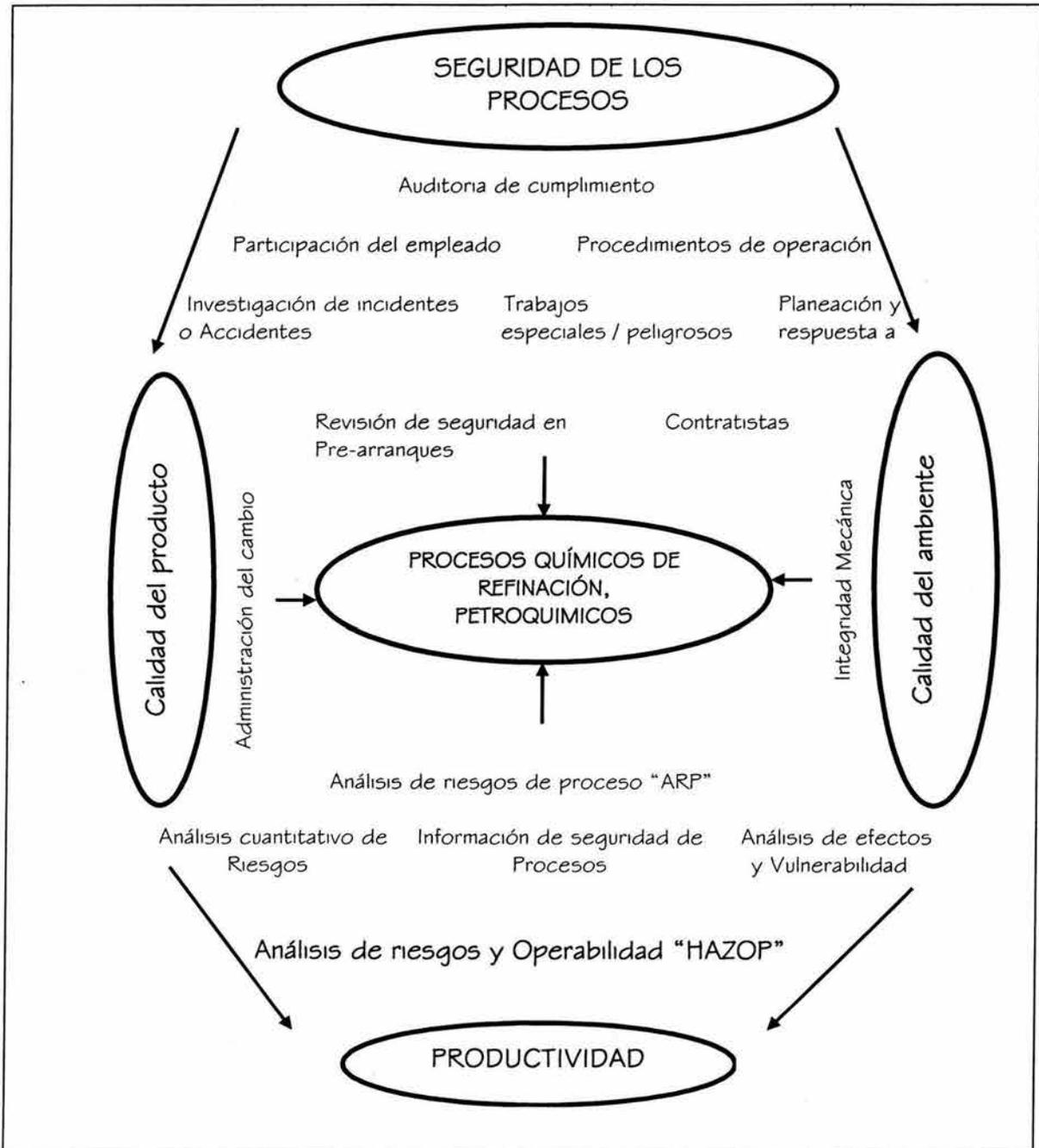
Los elementos principales de un programa de Administración de un Análisis y reducción de riesgos en la industria química se señalan en la tabla 2.6 y en el diagrama 2.1.

Tabla 2.6 Elementos de un programa de administración de riesgos

GERENCIA DE RIESGOS
1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS.
2. EVALUACIÓN DE RIESGOS.
3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.
4. ENTRENAMIENTO O CAPACITACIÓN DE LOS TRABAJADORES.
5. CONTROL DE DISEÑO DE MODIFICACIONES.
6. PROCEDIMIENTOS DE MANTENIMIENTO
7. INVESTIGACIÓN DE INCIDENTES /ACCIDENTES.
8. AUDITORÍAS DE SEGURIDAD.
9. REGISTRO Y ARCHIVO.
10. PLANES DE EMERGENCIA, EVALUACIÓN



Figura 2.1 Administración y reducción de riesgos



El análisis de riesgos nos va a permitir jerarquizar las inversiones en materia de seguridad, distribuyendo los recursos disponibles de la manera más eficaz.



2.6 Técnicas de análisis de riesgos

Existen varias técnicas de identificación y evaluación de riesgos, las cuales se agrupan en tres categorías que son:

1. Métodos Comparativos
2. Índices de Riesgos
3. Métodos generalizados

Estas técnicas han demostrado ser eficientes en la práctica profesional desde hace varios años y difieren en la forma de rastrear y evaluar riesgos, aunque pueden combinarse para obtener mejores resultados. Una vez que el riesgo ha sido identificado, este puede ser evaluado para la toma de decisiones. La identificación de riesgos es el paso más importante del análisis, puesto que cualquier riesgo no identificado no puede ser objeto de estudio y se vuelve un riesgo incontrolable.

1. **Métodos Comparativos:** Se basan en la experiencia acumulada, de varios años, de las personas involucradas directamente con los procesos. Ver tabla.
2. **Índices de Riesgos:** Aunque no identifican peligros específicos, permiten señalar las áreas de mayor concentración de riesgos y determinar, con base al nivel de riesgo encontrado, la necesidad o no de hacer un estudio más profundo. tabla
3. **Métodos generalizados:** Proporcionan esquemas de razonamiento más sistemáticos y es la realización de un estudio más profundo. Tabla

Estas técnicas demuestran ser eficientes en la práctica profesional desde hace varios años, estas técnicas difieren en la forma de rastrear y evaluar los riesgos en una unidad de proceso y en la aportación de resultados para eficientar su operabilidad.



Tabla No.2.7 Técnicas de Análisis de Riesgos de Proceso (ARP) Métodos Comparativos.

1. Métodos Comparativos	
1.1	Códigos, Estándares y Normas (CEN)
1.2	Lista de Comprobación, Checklist (CL)
1.3	Análisis Histórico de accidentes (AHA)
1.4	Revisiones de Seguridad (RS)
1.5	Auditorias de Seguridad (AS)

Tabla No.2.8 Técnicas de Análisis de riesgos de Proceso (ARP) Índices de Riesgos

2. Índice de Riesgos	
2.1	Índice DOW (ID)
2.2	Índice de Mond (IM)

Tabla No.2.9 Técnicas de Análisis de Riesgos de Proceso (ARP) Métodos Generalizados

3. Métodos Generalizados	
3.1	Análisis de Riesgos y operabilidad HAZOP
3.2	Análisis de Modos de Falla Y Efectos (FMEA)
3.3	Análisis de Árbol de Fallas (FTA)
3.4	Análisis de Árbol de Sucesos (ETA)
3.5	Análisis de "What if" (WI)
3.6	Análisis de Causa- Efectos (ACE)
3.7	Análisis de Confiabilidad Humana (ACH)
3.8	Análisis de Consecuencias (AC)



2.6.1 Técnica HAZOP⁽¹⁾⁽²⁾⁽¹³⁾⁽⁶⁾

Esta técnica se basa en los siguientes dos puntos:

↓ **Carácter sistemático del análisis**

El estudio esta basado en la aplicación de una serie de palabras guía, las cuales facilitan la identificación de desviaciones mediante un razonamiento ordenado. Cada vez que una desviación razonable es identificada, se analizan sus causas, protecciones y posibles acciones correctivas.

↓ **Carácter Multidisciplinario**

El análisis HAZOP es aplicado por un equipo, que debe estar formado por personas de distinta experiencia y formación. Los miembros del equipo exponen las desviaciones, causas consecuencias y soluciones que se les ocurren, aunque a primera vista parezcan poco razonables ó imposibles.

2.6.1.1 Metodología para el estudio HAZOP.

Para la aplicación correcta de la técnica HAZOP se requiere que los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) estén completos. Es fundamental que la persona que dirija el estudio tenga experiencia en el análisis HAZOP y de preferencia con conocimientos generales acerca de la planta en cuestión, su misión es actuar de facilitador, asegurándose de que se sigue el procedimiento correcto sin descuidar ningún detalle, estimulando la discusión.

Para el desarrollo de una análisis HAZOP se requiere como paso fundamental la formación de un equipo multidisciplinario conformado por los siguientes integrantes: un ingeniero de proyectos, un ingeniero de proceso, un ingeniero instrumentista, un ingeniero de mantenimiento (mecánico y eléctrico), un ingeniero de mantenimiento de plantas y un ingeniero encargado de la seguridad industrial, y por ultimo el facilitador el cual se encargara de dirigir el análisis.

Este equipo deberá cumplir con los siguientes puntos:



- ✚ Tener conocimiento pleno del proceso (tanto físico como químico).
- ✚ Revisar los registros históricos de incidentes o accidentes así como también los registros de calibración y pruebas de líneas y válvulas de relevo (PSV's).
- ✚ Seleccionar los nodos en (orden jerárquico) en los que se aplicará la técnica HAZOP.
- ✚ Conocer y tener a la mano los procedimientos normativos internos, la normatividad local y Nacional y los estándares internacionales.
- ✚ Revisar los manuales de operación y mantenimiento, la información del control automático existente, los programas de capacitación y adiestramiento y los planes de emergencia. Toda esta información deberá estudiarse (con el fin de conocer el proceso operativo) y revisarse de acuerdo a las normas y estándares que apliquen (con el fin de establecer recomendaciones específicas durante y al final del estudio, evitando generalidades).
- ✚ Revisar y actualizar (si es necesario) los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y los diagramas de flujo de proceso (DFP's) para cada nodo seleccionado, así como también revisar las hojas de datos de especificación de líneas y equipos. Realizar un recorrido en el área con el grupo HAZOP, con el fin de observar las condiciones de seguridad en el nodo a analizar.
- ✚ Establecer las reglas de juego: Puntualidad, participación activa y positiva, evitar las discusiones innecesarias y concentración en el estudio para la generación de ideas.
- ✚ Aplicar la técnica de análisis de riesgos y operabilidad (HAZOP) en cada nodo seleccionado. Durante la aplicación de la técnica es posible determinar, además de las desviaciones, causas consecuencias, salvaguardas recomendaciones y acciones correctivas, los límites de operación de normal y seguros como son (temperatura, presión, nivel, etc).
- ✚ Identificar escenarios potenciales de accidentes durante la aplicación de la técnica HAZOP.
- ✚ Aplicación de la técnica de análisis de árbol de fallas y análisis de consecuencias para cada escenario potencial identificado.



✦Reporte HAZOP

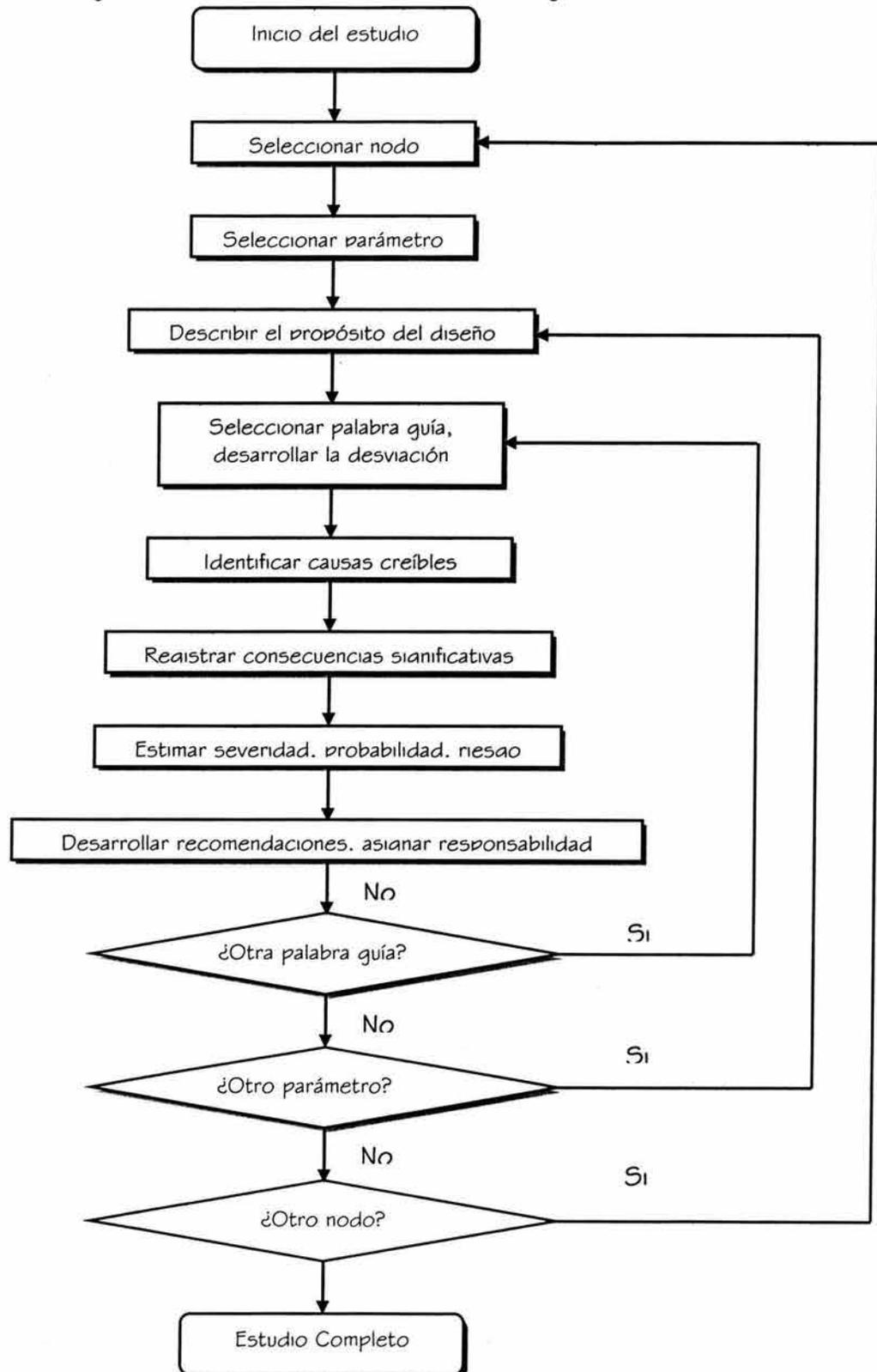
Para que un estudio HAZOP se requiere la información que represente el estado actual de la planta (cuando el estudio se realiza en la etapa de operación). Antes de iniciar un estudio HAZOP es importante revisar la información que diariamente se usa para asegurar la calidad del producto final y prevenir riesgos; por ejemplo en orden de importancia, los procedimientos operativos y de mantenimiento, el programa de revisión de instrumentos y detectores (protecciones), etc. Frecuentemente nos encontramos con procedimientos imprecisos, no actualizados, no difundidos correctamente y, además archivados, los cuales conducen al personal encargado de aplicarlos a usar notas informales que, en muchos casos o en casi todos, provocan la omisión de pasos importantes de un procedimiento correcto.

La técnica HAZOP está basada en la premisa que los riesgos y problemas de operabilidad provengan de desviaciones desde el propósito del diseño. Siete palabras guía abarcan las opciones en los cuales los parámetros de diseño pueden desviarse desde la intención del diseño:

Una manera de aumentar la eficiencia de las sesiones HazOP es presentar durante estos breves casos históricos de accidentes que han ocurrido dentro de la industria química. La intención es ayudar a animar los pensamientos críticos de los participantes relacionando las palabras guía del HazOp con los accidentes del mundo actual.



Figura No.2.2 Proceso de la Metodología HAZOP





✚ *No*: La completa negación de la intención del diseño. Ninguna parte de la intención se logra. Ejemplo: No hay flujo en la línea, el paso en el procedimiento no se lleva a cabo, etc.

✚ *Más / menos*: Aumentos o disminuciones cuantitativas sobre la intención de diseño. Se refiere a cantidades y propiedades físicas relevantes tales como flujo, temperatura, calor, reacción. Ejemplo: Más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor viscosidad, etc. También se refiere a que se hace menos de lo requerido; por ejemplo, purgar un recipiente en cinco minutos, cuando el procedimiento dicen que esta actividad debe hacerse en diez minutos, por lo que el paso se lleva a cabo en menos tiempo, es decir demasiado pronto en la secuencia.

✚ *Además de / También como*: Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: el vapor consigue calentar el reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos, se llena otro recipiente a la vez, etc.

✚ *Parte de* : Disminución cualitativa. Solo parte de la intención se logra. Ejemplo: La composición de los sistemas es diferente a la prevista, se cierra sólo una válvula de bloqueo cuando el procedimiento dice cerrar las dos válvulas de bloqueo, etc.

✚ *Inverso*: Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: El flujo transcurre en sentido inverso, tiene lugar la reacción inversa, veneno en lugar de antídoto, etc.

✚ *En vez de / Otro que*: No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto. Ejemplo: Cambio de catalizador, fallo en el modo de operación de una unidad, parada imprevista, etc.

Tabla No 2.10. Matriz de desviaciones



Parámetro de diseño	Palabra Guía						
	Más	Menos	Ninguno	Además de /también como	Parte de	Inverso	En vez de / Otro
Presión	Alta presión	Baja presión	Vació				
Temperatura	Aumento de Temperatura	Menor temperatura					
Flujo	Alto flujo	Menor flujo	Sin flujo	Adición de componente	Cantidad errónea	Contraflujo	Componente erróneo
Nivel	Alto nivel	Bajo nivel	Sin nivel				
Composición	Alta composición	Baja composición		Componente extra			Componente erróneo
Instrumentación	Mayor instrumentación	Menor instrumentación	Sin instrumentación				
Estructura	Mayor estructura	Menor estructura	Sin estructura				
Aternzamiento	Mayor aternzamiento	Menor aternzamiento	Sin aternzamiento				
Relevo	Mas relevo	Menor relevo	Sin relevo				
Soporte Administrativo	Mayor soporte Administrativo	Muy poco	Sin soporte Administrativo				

40



Matriz de riesgos

La matriz de riesgos se forma a partir de los niveles, que son el nivel de frecuencia y el nivel de gravedad. Después el equipo multidisciplinario clasificará las recomendaciones según su nivel de riesgo, el cual fue establecido por el equipo multidisciplinario.

Clasificación de las recomendaciones

Las recomendaciones se clasifican de acuerdo al nivel de riesgo encontrado y se obtienen directamente de la matriz de riesgos. Estas se clasifican de la siguiente manera

- ✦ Clase A: son las que tienen la más alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para reducir la probabilidad de ocurrencia del accidente, mediante técnicas de reducción de riesgos, o para mitigar sus consecuencias ó efectos. De acuerdo con la matriz de riesgos, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgos de 1 a 3.
- ✦ Clase B. Es necesario que se lleve a cabo la recomendación pero puede realizarse mediante una acción programada. De acuerdo con la matriz de riesgos, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgos de 4 a 5.
- ✦ Clase C: son las que tienen prioridad media. Esto quiere decir que la administración debe evaluarlas mediante un análisis de costo-beneficio y mediante el fundamento de la recomendación dada para reducir el riesgo o mitigar sus consecuencias, para que basado en esto se tome la decisión de "aceptar o no el riesgo". De acuerdo con la matriz de riesgos, estas recomendaciones deben tener un índice de riesgos de 6 a 7.
- ✦ Clase D: . Esto significa que la acción correctiva que se tome mejorará aún más la seguridad (el riesgo puede ser reducido) pero que el proceso puede seguir operando con la seguridad aunque la recomendación no se implemente (los riesgos deben controlarse dentro de los niveles aceptables). De acuerdo con la matriz de riesgos, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgos de 8 a 10.



Tabla No 2.11 Niveles de Frecuencia.

Nivel	Frecuencia
1	Ocorre mas de una vez al año
2	Puede o ha ocurrido varias veces durante la vida de la planta
3	Se espera que no ocurra mas de una vez en la vida de la planta
4	No se espera que ocurra en la vida de la planta

Tabla No.2.12 Niveles de Gravedad.

Nivel	Gravedad	
1	Catastrófico	Personas: Perdida de una o mas vidas fuera de la refinería. Instalaciones: Daños o pérdidas por mas de \$25,000,000. 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 un lesionado dentro. Instalaciones: Daños o pérdidas por un monto entre \$2,500,000 y \$25,000,000. Ambiente: Fuga mayor que no requiere limpieza fuera de la refinería. Operación: Paro de más de una planta.
3	Significante	Personas: Varios lesionados dentro de la refinería. Instalaciones: Daños o pérdidas por un monto entre \$250,000 y \$2,500,00. 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 o pérdidas por menos de \$250,000. Ambiente: Fuga menor. Operación: Paro del equipo o sección de la planta.



Figura No.2.13 Matriz de riesgos

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

Tabla No 2.14 Clases de Riesgos

Num	Clase	Descripción	Seguimiento
1 a 3	A	Inaceptable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase C o menor dentro de un periodo de 6 meses
4	B	Indeseable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase C o menor dentro de un periodo de 12 meses
6	C	Aceptable con controles	Debe verificarse que los procedimientos o controles estén en su lugar, en uso y que sean efectivos
7 a 10	D	Aceptable como está	No se requiere mitigar el riesgo



2.6.2 Análisis por Árbol de Fallas (FTA)¹⁴

Basado en elementos propios del álgebra Booleana (Ver Apéndice B), el Árbol de Fallas, es un modelo gráfico en el cual se plasman los eventos intermedios que dan origen a un evento no deseado llamado “evento culminante”. Al referirnos a eventos intermedios debemos entender que son fallas, que al combinarse dan origen al evento culminante, es decir, al accidente.

Los eventos culminantes son situaciones específicas que fueron detectadas por técnicas menos detalladas (por ejemplo Análisis “What if...” o HAZOP).

La técnica supone un suceso no deseado (un accidente o una desviación peligrosa de cualquier tipo, que ya ha o no 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 fallas humanas o de equipos de planta, sucesos externos, etc.

En esta técnica existen tres áreas importantes para su estudio:

- a) El Riesgo: evento potencialmente peligroso. Debido a que los riesgos son inevitables, siempre existirá la posibilidad de que ocurran accidentes, por mínima que está sea.
- b) Existencia de eventos que, individualmente o de forma conjunta, pueden generar riesgos. Entre las principales causas de los Riesgos en las plantas Químicas se encuentran:
 - ↓ Fallas de equipo
 - ↓ Falta o fallas de mantenimiento
 - ↓ Fallas en los instrumentos
 - ↓ Adiestramiento inadecuado a operadores
 - ↓ Errores Humanos



- c) Sistemas de protección al proceso y a la planta ya que pueden fallar alarmas, válvulas de alivio, discos de ruptura, válvulas de venteo, sistemas automáticos de seguridad, etc.

Los eventos culminantes, es decir, accidentes, son descompuestos en un grupo de fallas, buscando las combinaciones que le dan origen. A los grupos de combinaciones son llamados “conjuntos mínimos” y podemos definirlos como la asociación más pequeña de fallas que, si llegan a existir o suceder simultáneamente, el evento se presentará.

La probabilidad del evento culminante se determina sumando y multiplicando las probabilidades entre sí, tal como se hace con las variables del álgebra Booleana.

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. Los resultados son cualitativos, sin embargo, pueden ser cuantitativos si los datos de la relación de fallas están disponibles para el evento.

Normalmente una persona puede ser asignada para elaborar un árbol de fallas para un accidente dado. Esta persona deberá de tener conocimiento del proceso que se lleva a cabo en la planta. La preparación de este árbol depende del tamaño y la complejidad del equipo.

2.6.2.1 Metodología para el Análisis de Árbol de Fallas

El Análisis de Árbol de Fallas consta de los siguientes pasos:

- 1) Identificación de la falla del sistema. A este evento lo designaremos “evento culminante” que será analizado y lo ubicaremos en la parte superior del árbol
- 2) En el siguiente nivel del sistema, que se denominara subsistema, identificaremos 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 acción individual de cada una de ellas
- 4) Usar la estructura lógica de puertas "Y" u "O" para mostrar la relación de fallas del subsistema que producen al evento cúspide. La "Y" significa que las frecuencias o probabilidades deben ser multiplicadas y la "O" significa que estas deben ser sumadas

NOTA: Según la lógica Booleana, en un conjunto de elementos, en este caso fallas, bastará con que exista una relación de conjunción (puerta "Y") entre dos de ellas para que la compuerta lógica del conjunto sea "Y".

- 5) Descender al nivel próximo inferior del sistema y repetir los pasos 2 al 4 hasta que se hayan identificado todas las fallas del nivel de componentes
- 6) Con datos de frecuencia o probabilidad de fallas en el nivel de componentes, computar la frecuencia o probabilidad de las fallas descritas en el nivel ubicado arriba del nivel de componentes usando las puertas "Y" u "O".
- 7) Seguir con 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 halla sido calculada.
- 8) Cuando todas las secuencias razonables se han identificado y el árbol ha sido completado de la forma adecuada, el análisis de árbol de fallas es una herramienta muy poderosa en la cuantificación de riesgos y es uno de los análisis de riesgos más estructurados.



En la *Tabla 2.15*, se muestran los nombres, significados y símbolos para las puertas usadas en el árbol de Fallas.

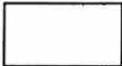
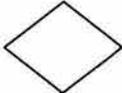
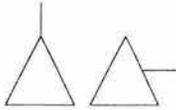
Esta técnica supone básicamente que, todos los eventos intermedios que dan origen al evento culminante suceden en un estado de falla o en el estado de realización de algún trabajo. Las fallas o faltas que aparecen en el diagrama del árbol se pueden agrupar en tres categorías: primarias (desperfectos de elementos o componentes que son sometidos a condiciones para las cuales no han sido diseñados), las cuales se atribuyen a defectos en el componente; secundarias (fallas de equipos que, al ser sometidos a condiciones que no corresponden a su diseño tienen fallas en su funcionamiento), que se atribuyen a causas externas ya que el equipo no está diseñado para esas condiciones; y las de comando (a pesar del buen funcionamiento de los elementos de proceso, no se logra la respuesta deseada debido a una mala operación o a un mal control)

A continuación se especifican algunas de las ventajas que posee:

- ✦ Puede aplicarse a un solo sistema o a sistemas interconectados.
- ✦ Debido a que se usa Álgebra Booleana, se reduce el manejo de variables, de una forma fácil y rápida.
- ✦ Toma en cuenta factores mecánicos y humanos.
- ✦ Permite el análisis del efecto de los cambios o adiciones de equipo al proceso.
- ✦ Puede ser usado durante el diseño, modificación u operación de la unidad.
- ✦ Puede ser realizado por personal adiestrado de forma adecuada, sin necesidad de que tenga mucho adiestramiento.
- ✦ Las secuencias de eventos que conducen a accidentes son investigadas.
- ✦ Al no ser investigadas las secuencias de eventos sin consecuencias graves, el tiempo de realización disminuye al igual que el trabajo.
- ✦ Tiene la facultad de investigar fallas complejas.



Tabla 2.15. Nombres, usos y símbolos de las compuertas lógicas usadas en un Árbol de fallas

NOMBRE DE LA COMPUERTA LÓGICA	APLICACIÓN	SÍMBOLO
<u>SUCESO INTERMEDIO</u>	Resultan de la interacción de otros sucesos que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas	
<u>SUCESOS BÁSICOS</u>	Constituyen la base de la raíz del árbol. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos	
<u>SUCESOS NO DESARROLLADOS</u>	No son sucesos básicos y podrían desarrollarse aun más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información	
<u>"O"</u>	Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida	
<u>"Y"</u>	Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida	
<u>PUERTAS INHIBICIÓN</u>	Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia del suceso de entrada y la satisfacción de una condición de inhibición	
<u>CONDICIÓN EXTERNA</u>	Se utiliza para indicar una condición o suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas	
<u>TRANSFERENCIAS</u>	Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol en otra parte (por ejemplo, en otra página, por falta de espacio).	



2.6.3 Análisis de Consecuencias o Efectos ⁽¹⁾⁽¹⁴⁾

Con un análisis de consecuencias se puede estimar la magnitud de los daños ocasionados por un accidente, por ejemplo, al manejar, transportar o procesar una sustancia o material peligroso, generadas por la naturaleza de sus características de toxicidad, reactividad, inflamabilidad, explosividad. Este tipo de estimaciones se realiza mediante el uso de modelos matemáticos, los cuales simplifican los mecanismos por los cuales se da un incidente, ya que estos son muy diversos y pueden ser muy complejos.

Estos modelos requieren de los siguientes datos:

- a) Propiedades físicas y químicas de las sustancias.
- b) Características del contenedor o los contenedores.
- c) Condiciones físicas o atmosféricas del lugar o sistema de estudio.

Para la selección del tipo de modelo que se utilizará, primero se debe determinar el escenario del accidente, identificándolo con alguna técnica de análisis de riesgos que sea más cualitativa. Posteriormente se determina las consecuencias y por último se cuantifican las pérdidas o daños.

Los accidentes más frecuentes que ocurren en la industria química son los incendios y las explosiones, seguido por fugas de sustancias tóxicas, por eso, la evaluación de consecuencias de incendios y explosiones, requiere de conocimiento de datos que definan el escenario en el cual ocurre.

Por lo tanto, se debe conocer las siguientes características de las sustancias con las que se involucra el accidente que se está analizando:

- Propiedades de los distintos materiales en cuanto a incendios y explosiones.
- Cuanto material dentro de los límites de inflamabilidad existe en una nube en el momento de la explosión o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado.



- Las consecuencias de un incendio o de una explosión en un escenario determinado.
- Procedimientos para reducir o mitigar el riesgo de incendio y explosión.

Esta técnica puede hacer un buen Análisis de Riesgos si es usada en combinación con las técnicas HAZOP y Análisis del Árbol de Fallas. La técnica HAZOP identifica riesgos de operabilidad, la técnica FTA los cuantifica (determina la probabilidad o la frecuencia de ocurrencia del evento culminante o potencial, el cual se identifica con la técnica HAZOP) y permite tomar decisiones, y el Análisis del Árbol de Fallas determina los efectos de un accidente potencial identificado, información que sirve de base para llevar a cabo acciones específicas para mitigarlos.

Es posible aplicar dos o más técnicas para un determinado nodo, siempre y cuando, estas nos proporcionen resultados diferentes que enriquezcan el estudio. Si se aplican dos técnicas diferentes, por su naturaleza, para un mismo nodo, no quiere decir que se está haciendo un análisis de riesgos completos. Sí se aplican dos o más técnicas generalizadas, por ejemplo, HAZOP, FTA y AC (Análisis de Consecuencias), se está haciendo un estudio completo de riesgos (identificación, evaluación y cálculo de efectos).

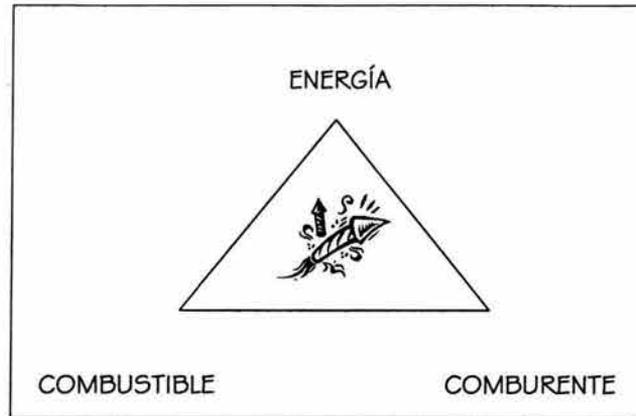
2.6.3.1 Modelos para análisis de consecuencias

Como ya se mencionó, en la industria química los accidentes más recurrentes y los más documentados son incendios, explosiones y derrames de sustancias tóxicas a la atmósfera. Y es que, la naturaleza de las materias primas, procesos y productos terminados que se utilizan en su operación son muchas veces impredecibles cuando se modifica alguna condición que no esta lo suficientemente estudiada.

Existen tres factores que son necesarios para poder generar fuego, estos se muestran en la Figura 2.3. Para que el fuego sea generado, no debe de faltar ninguno de estos elementos.



Figura 2.3 Triángulo del Fuego.



2.6.3.2 Ecuaciones de modelamiento

Modelos para Límites de Inflamabilidad

Modelo de Jones

 Ecuación:

$$\text{L.S.I.} = 3.55 \times C_{\text{COMB}}$$

$$\text{L.I.I.} = 0.55 \times C_{\text{COMB}}$$

donde:

C_{COMB} : la concentración estequiométrica del producto inflamable para la combustión en una mezcla con aire.

L.S.I.: es el límite superior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

L.I.I. : es el límite inferior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.



Modelo de Spakowaki:



Ecuación:

$$L.I.I. \times (-\Delta H_{\text{COMB}}) = 4.354 \times 10^3$$

donde:

$(-\Delta H_{\text{COMB}})$: es el calor de combustión (superior) estándar, expresado en kJ/mol,

L.I.I.: en porcentaje de volumen.

L.I.I.: es el límite inferior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

Modelos para mezclas de vapores inflamables

Modelo de Le Chatelier:



Ecuación:

$$L.I.I._{\text{MEZCLA}} = \frac{1}{\sum (Y_{i,\text{comb}} / L.I.I._i)}$$

donde:

$Y_{i,\text{comb}}$: la fracción mol de cada uno de los componentes de la mezcla.

$L.I.I._i$: es el límite inferior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

Evaluación de daños provocados por Nubes Explosivas

El modelo de evaluación de daños provocados por la explosión de una nube de gas o vapor inflamable involucra el cálculo para determinar un potencial explosivo aproximado de



sustancias empleadas en la industria. Dentro de las sustancias que se contemplan en el modelo como factibles de formar nubes explosivas se tienen:

- ✦ Gases contenidos a una presión de 500 psi o más
- ✦ Gases mantenidos en estado líquido por efecto de alta presión.
- ✦ Gases mantenidos en estado líquido por efecto de baja temperatura.
- ✦ Líquidos combustibles o inflamables mantenidos a una temperatura superior a la de su punto de ebullición y que se encuentran en estado líquido por efecto de presión (se excluyen las sustancias cuya viscosidad sea mayor a 1×10^6 centipoises o que posean puntos de fusión mayores a 100°C).

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

- ✦ La fuga de material (almacenado o en el proceso) es instantánea, excluyéndose escapes paulatinos de gas a menos que se trate de fugas en tuberías de gran capacidad.
- ✦ El material fugado se vaporiza en forma instantánea formándose inmediatamente la nube; la vaporización y formación de la nube se efectúa de acuerdo con las propiedades termodinámicas del gas o líquido antes de producirse la fuga.
- ✦ Se asume una nube de forma cilíndrica cuya altura corresponde a su eje vertical. Se supone que la nube cilíndrica no es distorsionada por el viento ni por estructuras o edificios cercanos.
- ✦ La composición de la nube es uniforme y su concentración corresponde a la media aritmética de los límites superior e inferior de explosividad del material.



- ↓ El valor del calor de combustión del material se transforma a un equivalente en peso de trinitrotolueno (TNT), el cual tiene un valor de 1 830 Btu /lb.
- ↓ La temperatura del aire ambiente se considera constante e igual a 21.1°C (70 °F).
- ↓ Se considera que una nube originada en el interior de un edificio, formará una nube de las mismas dimensiones que una originada en el exterior del mismo.

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

La metodología de funcionamiento del modelo involucra varios pasos:

1. Cálculo del peso de material en el sistema.
2. Cálculo del peso de material en la nube.
3. Cálculo del diámetro de la nube formada.
4. Cálculo de la energía desprendida por la explosión.
5. Determinación del diámetro de las ondas expansivas.
6. Determinación de los daños ocasionados.

Cálculo del peso de material en el sistema. (W_g o W_l)

Si el material en el proceso es un gas mantenido a 500 psi de presión o más, el peso de material se estima a partir de la ley de los gases:

$$W_g = \frac{P}{RT} MV_g \quad (1)$$



donde:

W_g = Peso del gas en el proceso (lb)

V_g = Volumen del gas en el proceso (ft³) a condiciones normales (0 °C y 1 atm)

Se deberá tomar en cuenta su factor de compresibilidad

M = Peso molecular del gas (lb/lb mol)

R = Constante de los gases (1.314 atm ft³/lb mol °K)

P = Presión (atm)

T = Temperatura (°K)

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

donde:

$$W_l = 8.34R_o V_l \quad (2)$$

W_l = Peso del líquido en el proceso (lb)

R_o = Densidad del líquido en el proceso (g/ml) a temperatura del proceso (T_p)

V_l = Volumen del líquido en el proceso (gal)

Cálculo del peso de material en la nube.

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

- * Para un gas mantenido a 500 psi o más de presión, el peso de material en la nube se asume igual al peso de material en el proceso:

$$W = W_o \quad (3)$$

donde W está dado en libras.



- Para los gases licuados por efecto de presión o temperatura, al producirse

$$W = W_i \quad (4)$$

la fuga se considera que todo el material pasa a la fase gaseosa:

- Para líquidos con un punto de ebullición inferior o igual a la temperatura ambiente (considerada de 21.1 °C) se asume que se produce una vaporización total del

$$W = W_i \quad (5)$$

100% del material en el proceso, de donde:

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

$$W = W_i \frac{C_p(T_p - T_{eb})}{\Delta H_v} \quad (6)$$

donde:

T_p = temperatura del líquido en el proceso (°C)

T_{eb} = temperatura de ebullición del líquido (°C)

C_p = media geométrica de los calores específicos del líquido (cal/g°C) a diferentes temperaturas entre T_{eb} y T_p

ΔH_v = calor de vaporización del líquido (cal/g) a la temperatura de ebullición T_{eb}

Cálculo del diámetro de la nube formada.

Como se mencionó anteriormente se asume que la nube es de forma cilíndrica, cuyo

$$D = 22.181 \left(W * \frac{1}{hMF} \right)^{0.5} \quad (7)$$



diámetro se calcula con la siguiente expresión:

donde:

D = Diámetro de la nube formada (ft).

h = altura de la nube formada (ft).

M = peso molecular del material.

W = peso del material en la nube.

El parámetro F corresponde a la fracción de la nube representada por gas o vapor, si la nube en su totalidad se encuentra a una concentración explosiva media. F se determina

$$F = \frac{L.I.E. + L.S.E.}{2 * 100} \quad (8)$$

con:

donde:

L.I.E. : es el Límite inferior de explosividad del material (%).

L.S.E.: es el Límite superior de explosividad del material (%).

Cálculo de la energía desprendida por la explosión.

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

La ecuación representativa es:

$$E_d = \frac{W \Delta H_c E}{4.03 \times 10^6} \quad (9)$$

donde:

E_d = energía generada expresada en peso de TNT, que produce una fuerza equivalente a la explosividad de la nube (Ton TNT).



ΔH_c = calor de combustión del material (Btu/lb), que para el TNT es de 4.03×10^6 Btu/Ton.

E = factor de explosividad.

W = peso de material en la nube.

El factor E es adimensional y determina la fracción del calor de combustión que sirve para producir las ondas de sobrepresión. Para muchos materiales el valor de E se encuentra dentro del rango 0.01 a 0.1. Para las nubes explosivas aquí consideradas se emplean los valores:

E = 0.02 cuando el escenario se considera de DMP (Diámetro Máximo Probable)

E = 0.10 cuando el escenario se considera de DMC (Diámetro Máximo Catastrófico)

Determinación del diámetro de las ondas expansivas.

Las ondas expansivas (o de sobrepresión) consideradas se expresan en unidades de presión y van desde 0.5 psi hasta 30 psi. La determinación de los diámetros de los

$$D.O.E. = z * (E_d)^{1/3} \quad (10)$$

círculos de sobrepresión se efectúa a través de funciones del tipo:

donde:

D.O.E. = diámetro de la onda expansiva (ft)

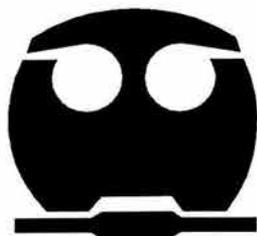
E_d = energía desprendida por la explosión (ton TNT)

Z = distancia escalada para la sobrepresión considerada (ft/Ton), para el rango empleado en esta tesis se tiene que los valores de Z son⁽⁷⁾⁽¹⁾:

Tabla 2.16. Relación de distancia escalada y Presión en una explosión⁽⁷⁾.

Z (ft/Ton.)	PRESIÓN (psig)
1291.011	0.5
8000.013	1.0
485.007	2.0

CAPÍTULO TRES:
TRABAJO EN CAMPO





3.1 Definición del alcance y objetivos

El alcance y los objetivos del proyecto se definieron tomando en cuenta las razones por las cuales se pidió que se realizará el estudio.

- ✚ Mejorar la seguridad la planta Hidrodesulfuradora de Naftas actualmente en operación.
- ✚ Cumplimiento con el elemento número 12 del SIASPA
- ✚ Seguimiento de las recomendaciones de las medidas preventivas para mejorar el sistema de seguridad por parte de las compañías de reaseguro.

Los tipos de riesgos que se analizaron durante el estudio fueron los siguientes:

1. Riesgos al personal.
2. Riesgos a la planta y al equipo
3. Riesgos de y hacia la calidad del producto
4. Riesgos al público y a la comunidad
5. Riesgos al medio ambiente (ecología)

3.2 Selección del equipo de trabajo

La evaluación de riesgos y operabilidad fue realizada por un grupo multidisciplinario formado por:

Miembros técnicos

- ✚ Ingeniero de Operación
- ✚ Ingeniero Mecánico
- ✚ Ingeniero de Instrumentos
- ✚ Ingeniero de Seguridad



Personal de Soporte

- ↓ Líder del estudio
- ↓ Secretario

3.3 Trabajo preparatorio

Actividades previas al estudio:

Obtención de toda la información relevante.

3.3.1 Descripción del proceso de Hidrodesulfuración

El proceso, consiste en el Hidrotratamiento catalítico de las naftas que posteriormente serán sometidas al proceso de reformación

El catalizador, es del tipo bimetálico a base Co-Mo.

La unidad tiene capacidad de procesamiento de 86 000 BPD de nafta desbutanizada procedente de las plantas Estabilizadora de crudo, Fraccionadora de Hidrocarburos y Gasolina primaria de TMP.

La Hidrodesulfuración es un proceso de refinación catalítica que utiliza un catalizador selectivo, en combinación con una corriente de gas rica en Hidrógeno, para descomponer los compuestos de Azufre, Oxígeno, Nitrógeno, Cloruros y compuestos metálicos así como para saturar las olefinas presentes en las gasolinas. Los metales se eliminan por fijación de los mismos sobre la superficie del catalizador. También se eliminan agua obteniéndose finalmente un producto seco y libre de impurezas. Todas estas mejoras en la gasolina se alcanzan con poca o ninguna pérdida del producto.

Para llevar a cabo todo lo anterior, la carga se mezcla con una corriente de gas rica en Hidrógeno proveniente de la planta Reformadora BTX ó Etileno vaporizándose en el tren de precalentamiento y en el calentador de fuego directo antes de entrar al reactor.

La hidrogenación se lleva a cabo a través de un lecho fijo de catalizador cuyos principios activos son Co-Mo.



Las reacciones que se efectúan son las siguientes:

- Saturación de olefinas con producción de parafinas y naftenos
- Hidrogenación de los compuestos de azufre con producción de parafinas y H_2S .
- Hidrogenación de los compuestos de nitrógeno con producción de parafinas y amoniaco.
- El Oxígeno es eliminado con producción de hidrocarburos y agua.

Las tres primeras reacciones son altamente exotérmicas. La hidrogenación se lleva a cabo en dos reactores catalíticos a una temperatura de $280^\circ C$ aproximadamente y bajo una presión de 30 Kg/cm^2 . El efluente de los reactores se enfría y se condensa.

La separación de fases se efectúa en los separadores de productos de reacción, de los cuales el gas rico en Hidrógeno se recircula hacia la carga líquida y el excedente se envía como gas amargo a la planta tratadora. Los Hidrocarburos líquidos se envían a la sección de estabilización y fraccionamiento. De esta sección se obtienen como productos las corrientes siguientes:

- a. Gas amargo
- b. Butanos y más ligeros
- c. Nafta desulfurada y desbutanizada

La nafta Hidrotratada, producto principal de esta unidad, constituye la carga a la planta reformadora BTX.

Reacciones de Hidrodesulfuración.

El azufre se encuentra en la alimentación especialmente como mercaptanos, sulfuros, disulfuros, polisulfuros y tiofenos.

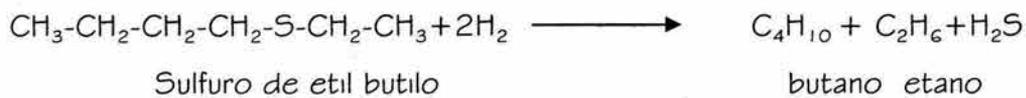
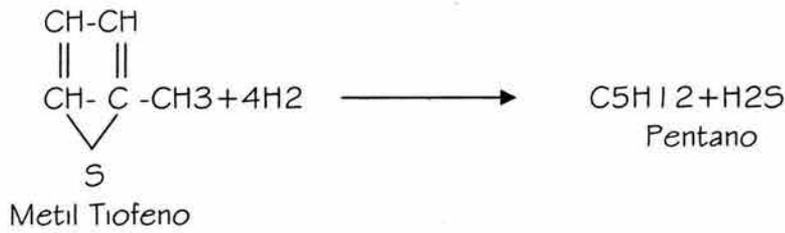
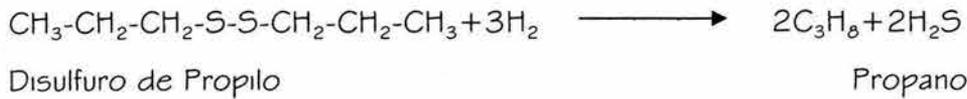
Los primeros componentes son predominantes de las gasolinas directas. Son fácilmente convertidos a sulfuro de Hidrógeno por reacciones tales como:





Pentil-Mercaptano

Pentano

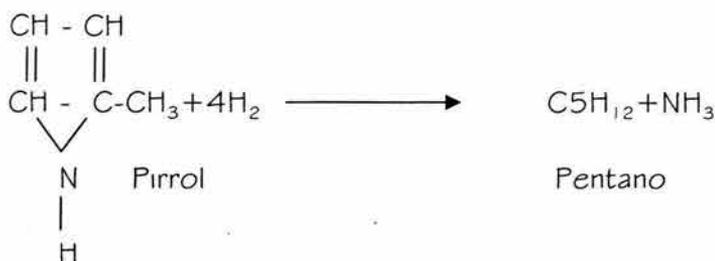


Generalmente se ha estimado que un contenido residual de azufre cercano a 1.0 p.p.m. es adecuado para conservar una buena actividad del catalizador de reformación. Los tiofenos son los mas difíciles de eliminar.

Reacciones de Hidrodesnitrificación

En productos del petróleo, el nitrógeno se encuentra junto con el azufre. Esencialmente se encuentra en compuestos heterocíclicos siendo por ello mas difícil la hidrodesnitrificación que la Hidrodesulfuración. Debido a que estos componentes inhiben la muy importante función ácida del catalizador de reformación deben eliminarse completamente.

Las reacciones típicas para la eliminación de nitrógeno son las siguientes:

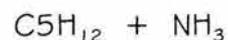




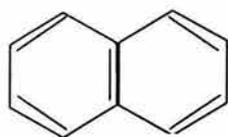
3. Trabajo en campo



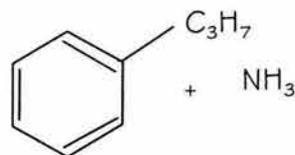
N
Piridina



N-pentano



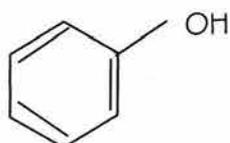
N
Quinoleina



Propil-benceno

Reacciones de descomposición de compuestos oxigenados.

El oxígeno se encuentra disuelto o contenido en compuestos heterocíclicos de azufre o nitrógeno o en forma de peróxidos o compuestos fenólicos. Estos compuestos se transforman en agua e Hidrocarburos.



Fenol



Benceno

Eliminación de arsénico y compuestos metálicos.

El platino de los catalizadores de reformación tiene una fuerte afinidad por estos metales y los catalizadores resultan completamente desactivados por ellos, por lo tanto es imprescindible eliminarlos en el proceso de Hidrodesulfuración previo al de reformación.

Durante la desulfuración, los compuestos metálicos (arsénico, plomo, cobre o níquel) se descomponen de manera similar a los mencionados anteriormente, también con formación de hidrocarburos puros. La diferencia aquí es que los metales contaminantes se depositan sobre el catalizador y se unen con los compuestos metálicos empleados en la manufactura del mismo.

El máximo contenido permisible de arsénico, plomo y otros compuestos metálicos no deben ser mayor de 1 p.p.b (una parte por billón) para fines de reformación.

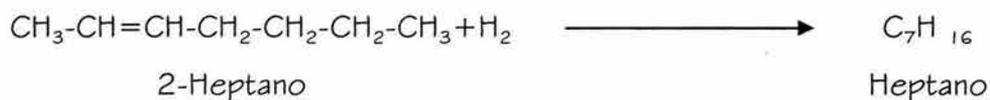


Saturación de olefinas.

Los compuestos olefinicos son compuestos no saturados o sea deficientes en átomos de hidrógeno, lo que los hace relativamente reactivos.

Bajo las condiciones de operación del proceso de reformación, las olefinas pueden producir depósitos importantes de carbón sobre el catalizador y en los tubos del horno. Las olefinas se convierten a parafinas en el reactor de Hidrodesulfuración.

Las reacciones que se efectúan en el proceso de Hidrodesulfuración son generalmente exotérmicas. Sin embargo únicamente la saturación de olefinas y la descomposición de compuestos nitrogenados liberan una gran cantidad de calor.



Otras reacciones.

Todas las reacciones que ocurren en el proceso de hidrodesulfuración consumen hidrógeno. En cortes procedentes de desintegración, las olefinas son los mayores consumidores de hidrógeno debido a sus altas concentraciones. Por la misma razón los compuestos de azufre también consumen cantidades apreciables de hidrógeno.

Los compuestos de silicio (componentes de aditivos antiespumantes) también pueden retenerse sobre el catalizador cuando su presencia es esporádica.

Los cloruros son muy dañinos para los catalizadores constituidos por platino sobre base de alumina. Cuando su contenido es considerable, estos compuestos se desdoblan con la eliminación del ácido clorhídrico en la estabilizadora.





Las principales variables de operación que afectan la reacción de hidrotratamiento son las siguientes:

- Temperatura
- Presión
- Espacio-velocidad
- Relación molecular Hidrógeno / hidrocarburo

Temperatura

Incrementando la temperatura se aumentan las velocidades de reacción con Hidrógeno. Sin embargo, también se incrementa el depósito de carbón sobre el catalizador. Por lo tanto, es necesario encontrar un balance entre la vida de servicio del catalizador y la realización de una hidrogenación completa. De hecho debe fijarse la temperatura mínima que permita un adecuado hidrotratamiento de la carga. Esta temperatura se encuentra en el rango de 280-300°C para un catalizador nuevo y deberá aumentarse progresivamente hasta 300°C a lo largo del tiempo para compensar la pérdida de actividad por envejecimiento.

Presión.

La presión se mantiene normalmente al máximo del nivel permisible, compatible con la presión de diseño del equipo. La presión tiene un efecto favorable al eliminar el depósito de carbón (por incremento de la presión parcial del hidrógeno).

Espacio velocidad.

El espacio velocidad es el flujo por hora de líquido dividido entre el volumen del catalizador y es una indicación de la severidad de la operación; mientras mas bajo es este numero mayor es la severidad. Un espacio velocidad bajo mejora las reacciones. Como el volumen de catalizador es fijo, el espacio velocidad puede variar solamente por cambios en la velocidad de alimentación de la carga. Un decremento de la velocidad de la alimentación o abatimiento del espacio velocidad permitirá una reducción de temperatura en el reactor; un incremento



en el flujo de alimentación requerirá un incremento en la temperatura para obtener la misma calidad de producto.

Relación molecular hidrógeno/ hidrocarburos.

Esta relación se define por el número de moles de hidrógeno dividido entre el número de moles de hidrocarburos. Mientras mayor sea esta relación, menor será el depósito de carbón, de aquí que una relación alta de hidrógeno mejora las reacciones de hidrogenación. De la cantidad total de hidrógeno introducida a la sección de reacción se consume una pequeña parte y es la requerida para las reacciones de hidrogenación, la mayor cantidad pasa a través del reactor sin cambio y permite una presión parcial de hidrógeno alta.

3.3.1.1 Sección de reacción.

La alimentación de gasolina se recibe en el tanque acumulador FA-2001 (ver diagrama 3.1, apéndice C). Este recipiente opera a una temperatura de 71 °C, que es la temperatura a la que recibe la carga y a una presión de 4.8 Kg/cm². La carga se alimenta por medio de las bombas GA-2001 A/B/R a la sección de reacción a una presión de 38 Kg/cm².

En la descarga de estas bombas el flujo se divide para alimentar dos corrientes iguales a los bancos de precalentamiento de carga. A cada uno de estos se unen corrientes de hidrógeno. Los dos flujos de carga ya mezclados con hidrógeno de recirculación en cada tren pasan por la coraza del primer banco de precalentadores EA-2001 A/B y C/D y enseguida también por el lado de la coraza del segundo banco de precalentadores EA-2002 A/B y EA-2002 C/D. El incremento total de temperatura a través de los dos bancos de cada tren es de 199 °C.

En estas condiciones la carga totalmente vaporizada entra a los cuatro serpentines de cada calentador a fuego directo BA-2001 A/B (diagrama 3.2) con objeto de suministrarle el calor requerido para el proceso.

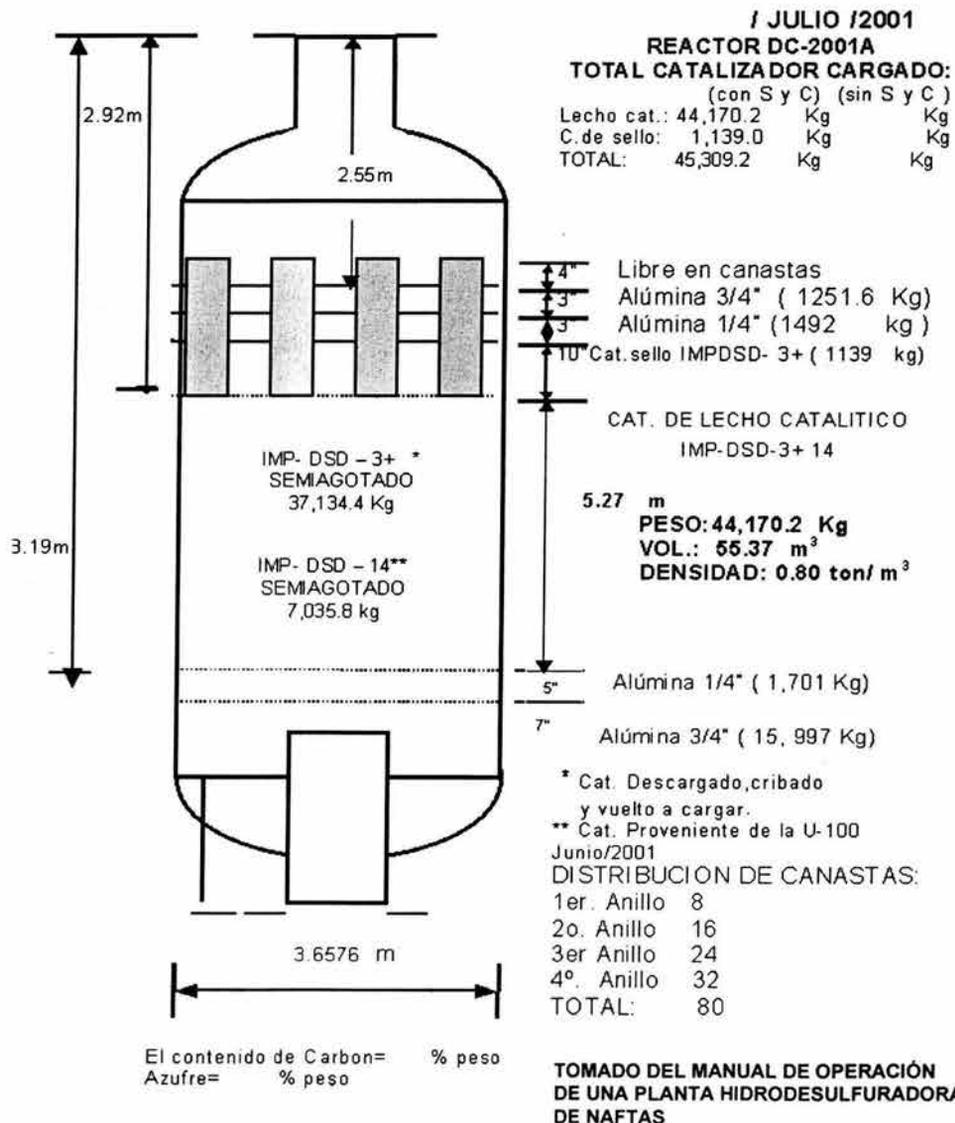


Reactores DC-2001 A y B.

La mezcla de nafta e Hidrógeno que sale de los calentadores BA-2001 A y B a aproximadamente 285 °C y 26.5 Kg/Cm² entra a los reactores DC-2001 A y B (ver diagrama 3.2) en donde se llevan a cabo todas las reacciones descritas en la química del proceso.

Cada reactor (ver figura 3.1) contiene una masa total de 45309 Kg de catalizador IMP-DSD-3 soportado sobre 15997 Kg. de esferas de alumina dispuestas de la siguiente manera:

Figura 3.1 CARGADO CONVENCIONAL DEL CATALIZADOR DEL IMP-DSD-3+ REACTOR DC-2001 A, HDS NAFTAS.





3. Trabajo en campo

La relación H₂ /HC para tratar este tipo de carga es de 11.0 m³ de H₂ 100% por barril de carga.

El espacio-velocidad de diseño para este reactor es de 6.0 como se muestra a continuación:

$$\text{LHSV} = \frac{\text{M3 DE CARGA/HR}}{\text{M3 DE CATALIZADOR}} = 6.0$$

Por lo tanto, la severidad del tratamiento se incrementa al disminuir el espacio-velocidad.

El incremento de la temperatura en la salida del reactor es función del tipo de carga y de la concentración de contaminantes que contenga, por lo tanto, es recomendable alimentar la carga al reactor, a la mínima temperatura a la cual el catalizador este activado para llevar a cabo las reacciones de Hidrotratamiento.

Habiendo pasado por el reactor la mezcla de hidrocarburos e hidrógeno, el efluente de este, sigue por el lado de los tubos del EA-2002 A/B C/D y EA-2001 A/B C/D, por el lado de los tubos del precalentador de carga a fraccionamiento EA-2003 A/B y por el lado de la coraza del banco de enfriadores EA-2004 A/H hasta llegar al separador de productos del reactor FA-2002 A/B. De esta manera el efluente de los reactores se ha enfriado de 290 °C hasta 37 °C.

La fase gaseosa de los separadores (hidrógeno) se recircula nuevamente hacia la carga con el compresor GB-2001 A/B. La fase líquida se envía a la sección de estabilización y fraccionamiento a control de nivel del separador de productos del reactor FA-2002 A/B, pasando por el precalentador de carga EA-2003 A/B lado coraza.

3.3.1.2 Compresores de recirculación GB-2001 A/B.

Los compresores de recirculación de hidrógeno GB-2001 A/B están diseñados para manejar el 120% del flujo normal con el objeto de cubrir las variaciones durante la operación de la planta. Cada compresor es accionado por una turbina de vapor a contrapresión con una potencia de 1314 B.H.P. Las condiciones de operación de cada compresor son:



Tabla 3.1 Condiciones de operación de compresores

	Succión		Descarga	
	Normal	Máxima	Normal	Máxima
Flujo M3 std/d	634391	761331	634391	761331
Presión Kg/cm ²	22.0	22.0	36.4	38.6
Tem. °C	43	43	97	----
Peso Molecular	7.668		7.668	

Los compresores tienen su máxima eficiencia a las condiciones de operación normal.

El compresor está protegido contra alta temperatura en chumaceras, vibración axial y/o radial, sobre velocidad, baja presión diferencial aceite y gas de sellos, falla de aire de instrumentos y alta temperatura en la descarga.

Eliminación de sales de amonio.

Según se describe en la química del proceso, los compuestos de nitrógeno se eliminan con formación de amoníaco; este amoníaco a su vez, se combina con los compuestos de azufre de la carga dando lugar a la formación de sales de amonio y azufre que cristalizan a bajas temperaturas corriente abajo del efluente del reactor. Esta cristalización se produce principalmente en las partes más frías del tren de precalentamiento de carga provocando la formación de grandes depósitos de sales en los tubos, lo que disminuye considerablemente la eficiencia de transmisión de calor.

Para evitar esta situación, periódicamente se inyecta agua de lavado (ver diagrama 3.1) a razón de 2000 Lt/día de agua a cada tren de precalentamiento con las GA-2014/R, la inyección se lleva a cabo en la entrada de el EA-2001 A/B C/D lado tubos y EA-2003 A/B lado tubos separándose en el FA-2002 A/B. Estas sales que son muy solubles se eliminan como solución acuosa y a control de nivel de interfase (LIC-2003 y 2005), enviándose hacia el cabezal de agua amarga.

3.3.1.3 Sección de estabilización y fraccionamiento. (ver diagrama 3.1A)

La fase líquida proveniente de los separadores de productos de los reactores a 38 °C y 22.0 Kg/cm² se envían a la sección de estabilización primero y a fraccionamiento después de haberse precalentado en el cambiador EA-2003 a 100 °C contra el efluente de los



reactores. Después de este precalentamiento la carga a la torre desbutanizadora (ver diagrama 3.3) se recibe en el primer separador de carga FA-2004 a una temperatura de 100°C. La función de este separador es reducir sustancialmente el contenido de hidrógeno en la carga a la torre desbutanizadora DA-2001. Este separador opera a 6.4 Kg/cm² y a control de nivel, la fase líquida se envía con las bombas GA-2002/R a la torre. La fase vapor se enfría en el condensador EA-2005 A/B y se recibe a 38°C en el segundo separador de carga (FA-2005) a la torre desbutanizadora. Este segundo separador opera a 6.2 Kg/cm², tiene por objeto recuperar los hidrocarburos de la fase vapor del primer separador y dejar en libertad el gas amargo que a control de presión, el cual se envía a la planta de tratamiento de gas. La fase líquida se envía con las bombas GA-2003/R hacia la torre desbutanizadora. La mezcla de las dos corrientes de carga a la torre a 98°C se alimenta al plato 20.

3.3.1.4 Torre desbutanizadora DA-2001.

La función de esta torre consiste en estabilizar las naftas separando las fracciones más ligeras y butanos que contengan. La torre tiene 34 platos del tipo válvulas, y sus condiciones de operación son 93 °C y 13.30 Kg/cm² en el domo 190 °C y 13.7 Kg/cm² en el fondo. El calor requerido para su operación es suministrado a los fondos de la torre por el rehervidor BA-2002 (ver diagrama 3.3A); para tal propósito, con las bombas GA-2006/R se envía el líquido a control de flujo a cada uno de los seis serpentines del rehervidor. Las seis corrientes calentadas se unen para entrar al fondo de la torre a 197 °C.

Los vapores del domo de la torre desbutanizadora DA-2001 a 93 °C, se condensan en los cambiadores EA-2006 A/B y se reciben ya fríos a 54°C en el acumulador de reflujo FA-2006 que opera a 13.30 Kg/cm². La presión en este recipiente se controla por el PIC-2022 que envía hidrocarburos ligeros y H₂S hacia la planta de tratamiento de gas.

La fase líquida se envía como reflujo al plato # 1 de la torre mediante las bombas GA-2004R. El exceso de reflujo, a control de nivel del acumulador se envía a límites de baterías a 54°C como alimentación a la unidad tratadora y fraccionadora de hidrocarburos.

El producto de fondos de la torre desbutanizadora DA-2001 por diferencia de presión y a control de nivel se envía como alimentación a la planta reformadora BTX. El exceso de



producto del fondo se envía a almacenamiento a control de flujo por medio del FRC-2026, previo enfriamiento en los enfriadores EA-2007 A/D hasta 38°C y 12.3 Kg/cm².

Debido a la presencia de gas amargo (H₂S) en los domos de la torre DA-2001 se requiere una inyección continua de inhibidor de corrosión para neutralizar la actividad corrosiva que pueda causar en el sistema este inhibidor de corrosión se dosifica en solución diluida 1:5 partes de gasolina desulfurada.

Para llevar a cabo lo anterior se requiere inyectar el inhibidor en dos puntos; el primero se localiza en la línea de salida de gases de la torre DA-2001 hacia el condensador EA-2006 A/B y la inyección se realiza tomando la solución de inhibidor del contenedor FB-2001 con la bomba GA-2007 a una dosificación recomendable de 4-5 ppm con respecto al flujo de hidrocarburos en el punto de inyección. El segundo punto de inyección corriente arriba en la salida de gases del FA-2004 hacia el EA-2005 A/B tomando la solución de inhibidor del contenedor FB-2002 con la bomba GA-2013 a una dosificación de 3-4 ppm.

En los trenes de precalentamiento A/B también se tienen puntos de dosificación de inhibidor de corrosión para cada tren de precalentamiento, el punto de inyección se encuentra en la misma línea de entrada de agua de lavado a cada tren, la dosificación recomendable es de 3-4 ppm con respecto al de hidrocarburos en el punto de inyección de cada tren de precalentamiento.

Se tiene también una dosificación continua de un antiensuciante el cual es inyectado en la succión de las bombas de carga. Este antiensuciante ayuda a mantener en suspensión los residuos carbonosos en los trenes de precalentamiento y evitar así taponamiento en los cambiadores por sedimentación de estos residuos carbonosos.

3.3.2 Hojas de seguridad de las sustancias involucradas

En estas hojas de seguridad se pretende recopilar la mayor información posible respecto de algunas de las sustancias involucradas en el proceso de Hidrodesulfuración de Naftas.

- ↓ Hidrógeno
- ↓ Sulfuro de Hidrógeno



3.3.2.1 Hoja de seguridad del Hidrogeno

I. Datos generales de la sustancia química.			
Nombre comercial: Hidrogeno		Nombre químico: Hidrogeno	
Peso molecular: 2g/mol		Familia química:	
Sinónimos: Hidrogeno		Fórmula química: H ₂	
II. Identificación de componentes.			
Componentes: Hidrogeno	% mol: -----	No. de CAS: 1333-74-0	No. de Naciones Unidas: UN-1049
Concentración máxima permisible: 4%		IPVS ppm:	Cancerígenos o taretogénicos: No de acuerdo al instructivo 10 de la STPS
Niveles de riesgo			
Para la salud: 0	Inflamabilidad: 4	Reactividad: 0	Otros: Ninguno
III. Propiedades fisicoquímicas.			
Densidad relativa del vapor (aire = 1): 0.069		Punto de ebullición: -252.8 ° C	
Densidad relativa del líquido (agua = 1): -----		Solubilidad en el agua: Muy poco soluble	
Velocidad de evaporación (butil acetato = 1): Gas a condiciones normales		Por ciento de volatilidad: Gas a condiciones normales	
Olor y apariencia: Gas a condiciones normales incoloro, inodoro			
IV: Riesgos de fuego o explosión.			
Límite de inflamabilidad inferior: 4 %		Límite de inflamabilidad superior: 74.5 %	
Temperatura de autoignición: 570 C		Punto de inflamación: No disponible	
Medios de extinción: Niebla de agua, polvo químico CO ₂		Productos de la combustión nocivos para la salud: Ninguno	
Equipo de protección personal: Traje de bombero completo.			
Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios: Cortar el suministro de gas			
Condiciones que pueden generar un riesgo especial: Calentamiento excesivo del recipiente.			
V. Datos de reactividad.			
Tipo de sustancia: Estable		Condiciones a evitar: Fuentes de ignición	



3. Trabajo en campo

Productos peligrosos de la descomposición: No aplica		Incompatibilidad con otras sustancias: Oxidantes y flúor	
Polimerización:		Condiciones a evitar (polimerización):	
VI. Riesgos para la salud.			
Tipo de exposición:		Efectos en la salud:	Primeros auxilios:
Ingestión accidental.		No aplicable	No aplica
Contacto con los ojos.		Ninguno conocido	No aplica
Contacto con la piel.		No aplica	No aplica
Adsorción.		No aplica	No aplica
Inhalación.		Puede provocar asfixia	Aplicar respiración artificial o administrar oxígeno.
Sustancia química considerada como:			
Cancerígena: No	Mutagénica: No	Tareogénica: No	Otras (especificar): Ninguna
VII. Indicaciones en caso de fuga o derrame.			
Aplicar el plan de emergencia. Eliminar las fuentes de ignición Apagar todo tipo de motores y equipo eléctrico. Retirar a todas las personas ajenas a los cuerpos de emergencia. Detener el tránsito de vehículos en un radio de 1,500 m. No tocar el material derramado. Utilizar una cortina de agua para dispersar los vapores teniendo cuidado de no dirigir el agua a la fuente de la fuga. Mantener fríos todos los equipos cercanos a la zona mediante el uso de agua.			
VIII. Protección especial.			
Equipo de protección personal: Utilizar un equipo de respiración autónomo junto con un traje de protección completo durante su manejo en fase vapor.			
Prácticas de seguridad: Aislar la zona de peligro. Mantenerse en contra de el viento. Evitar las depresiones en terreno. En caso de que alguno de los tanques se incendie o presente algún derrame, evacuar en un radio de 1,500 m. Utilizar una cortina de agua para dispersar el gas teniendo cuidado de no dirigir el agua a la fuente de la fuga. Mantener fríos todos los equipos cercanos a la zona mediante el uso de agua.			
IX. Información sobre su transportación.			
UN- 1049		DOT: Gas inflamable	
Guía 4		Sistema de emergencia en transporte para la industria química.	
X. Información sobre ecología.			
Nada que manifestar NOM-EM-ECOL/1993			
XI. Precauciones especiales.			
Durante su manejo y almacenamiento Puede encenderse por calor, chispa o flama. Al entrar en contacto con el aire forma mezclas explosivas. Lo vapores del gas inicialmente son más pesados que el aire y por lo tanto, pueden viajar hacia alguna fuente de ignición y retroceder con flamas. Los contenedores pueden explotar si se calienta demasiado. Los cilindros rotos pueden proyectarse.			
Otras precauciones: En caso de incendio, apagar el fuego desde la mayor distancia posible mediante el uso de soportes autónomos para las mangueras o mediante el uso de monitores. No dirija el agua hacia la fuga ya que puede haber congelamiento. Retirarse de inmediato en caso de que aumente el sonido de las válvulas o se comience a decolorar la pintura del tanque.			



3.3.2.2 Hoja de seguridad del Sulfuro de Hidrógeno

I. Datos generales de la sustancia química.			
Nombre comercial: Sulfuro de Hidrógeno		Nombre químico: Sulfuro de Hidrógeno	
Peso molecular: 34.08g/mol		Familia química: H ₂ S	
Sinónimos: Monosulfuro de dihidrógeno Sulfuro de dihidrógeno Dihidruro de azufre Hidruro de azufre			
II. Identificación de componentes.			
Componentes: Sulfuro de Hidrógeno	% mol: -----	No. de CAS: 7783-06-04	No. de Naciones Unidas: 1053
Concentración máxima permisible: CPT: 10 ppm CCT: 15 ppm		IPVS ppm:	Cancerígenos o taretogénicos: No de acuerdo al instructivo 10 de la STPS
Niveles de riesgo			
Para la salud: NOM 114 2 NFPA 2	Inflamabilidad: NOM 114 4 NFPA 4	Reactividad: NOM 114 0 NFPA 0	Otros: Ninguno
III. Propiedades fisicoquímicas.			
Densidad relativa del vapor (aire = 1): 1.189		Punto de ebullición: -60.33 ° C	
Densidad relativa del líquido (agua = 1): 1.5392 g/l		Solubilidad en el agua: Un gramo de sulfuro de hidrógeno se disuelve en 1.87 ml de agua (a 10°C), 242 ml a 20 °C.	
Velocidad de evaporación (butil acetato = 1): Gas a condiciones normales		Por ciento de volatilidad: Gas a condiciones normales	
Olor y apariencia: Es un gas incoloro, inflamable, con olor a huevo podrido, de sabor dulce y perceptible a concentraciones de 0.002 mg/l. Sin embargo, en concentraciones mayores de 500 ppm afecta la capacidad de percepción del nervio olfativo y con ello, impide su detección a través de este sentido, haciéndolo más peligroso.			
IV: Riesgos de fuego o explosión.			
Límite de inflamabilidad inferior: 4.3 %		Límite de inflamabilidad superior: 46 %	
Temperatura de autoignición: 260 °C		Punto de inflamación: No disponible	
Medios de extinción: Niebla de agua, polvo químico CO ₂		Productos de la combustión nocivos para la salud: Vapores tóxicos de óxidos de azufre	
Equipo de protección personal: Al utilizar este gas es necesario utilizar ropa de algodón, lentes de seguridad y guantes, e área bien ventilada. Si las cantidades a trabajar son grandes, entonces debe usarse equipo de respiración especial. En casos de emergencia debe utilizarse, además de equipo que cubra totalmente el cuerpo de material químicamente resistente.			



3. Trabajo en campo

Procedimiento y precauciones especiales en el combate de incendios:

Evacuar el área. El personal que combata el incendio debe mantenerse de frente al fuego y a favor del viento (viento en la espalda) en áreas altas y usar equipo de respiración y ropa de protección especial. Utilizar agua en forma de rocío, neblina o espuma.

Condiciones que pueden generar un riesgo especial:

Este compuesto es más pesado que el aire, puede viajar distancias considerables hasta una fuente de ignición y la flama se retrotrae. Forma mezclas explosivas con aire en un intervalo grande de concentraciones.

Los cilindros y tanques sometidos al fuego pueden romperse violentamente y salir como cohetes, si la válvula cede.

Arde en el aire con una flama azul pálido.

V. Datos de reactividad.

Tipo de sustancia: Estable	Condiciones a evitar: Fuentes de ignición
Productos peligrosos de la descomposición: No aplica	Incompatibilidad con otras sustancias: Oxidantes, bases fuertes y metales.
Polimerización:	Condiciones a evitar (polimerización):

VI. Riesgos para la salud.

Tipo de exposición:	Efectos en la salud:	Primeros auxilios:
Ingestión accidental.	No aplicable	No aplica
Contacto con los ojos.	Se produce irritación de la conjuntiva, provocando fotofobia, queratoconjuntivitis y vesiculación del epitelio de la córnea, aún a concentraciones de 20 ppm o más bajas, por algunas horas. Si la exposición es repetida, se presentan además de los síntomas mencionados, lagrimeo, dolor y visión nublada. Un envenenamiento crónico provoca hinchazón de la conjuntiva y los párpados.	Lavarlos con agua tibia asegurándose de abrir bien los párpados, por lo menos durante 15 minutos.
Contacto con la piel.	No hay información al respecto	Quitar la ropa contaminada y lavar el área expuesta con agua y jabón
Adsorción.	No hay información al respecto	No aplica
Inhalación.	Si la exposición es baja a concentraciones por pocas horas, los síntomas son: dolor de cabeza, náusea pérdida de peso y otros síntomas debidos a daños cerebrales. A concentraciones ente 50 y 500 ppm, el sulfuro de hidrógeno actúa primero como irritante respiratorio. Una exposición prolongada a concentraciones mayores de 250 ppm, por ejemplo, causa edema pulmonar y neumonitis bronquial. Por otra parte, si la concentración es mayor, entonces el daño el sistema nervioso es el principal problema. Así una exposición de 500 ppm por 30 minutos causa dolor de cabeza, cansancio, excitación, diarrea e inconciencia. Se ha informado incluso de	Mover a la víctima a un lugar bien ventilado y evaluar los signos vitales. Si no hay pulso, proporcionar rehabilitación cardiopulmonar; si no respira, dar respiración artificial. Si la víctima esta consiente, sentarlo y mantenerlo en reposo, ya que puede ocurrir congestión pulmonar, así como convulsiones.



3. Trabajo en campo

casos de encefalopatías y polineuritis. El respirar solo unos minutos en atmósferas con 1000 ppm de este producto causa inconciencia de la cual se puede recuperar rápidamente si se atiende a tiempo, pero puede ser mortal por parálisis respiratoria.			
Sustancia química considerada como:			
Cancerígena: No	Mutagénica: No	Tareogénica: No	Otras (especificar): Ninguna
VII. Indicaciones en caso de fuga o derrame.			
Mantener alejadas del área cualquier fuente de ignición. Evitar que el material llegue a drenajes o fuentes de agua. Usar agua en forma de rocío para bajar los vapores, y almacenar en lugares especiales, pues esta disolución es tóxica y corrosiva. Si el derrame es de disoluciones, contenerlo y absorberlo con productos comerciales hechos para ello, para posteriormente neutralizarlo con óxido o carbonato de calcio o bicarbonato de sodio.			
VIII. Protección especial.			
Equipo de protección personal: Utilizar un equipo de respiración autónomo junto con un traje de protección completo durante su manejo en fase vapor.			
Prácticas de seguridad: Aislar la zona de peligro. Mantenerse en contra de el viento. Evitar las depresiones en terreno. En caso de que alguno de los tanques se incendie o presente algún derrame, evacuar en un radio de 1,500 m. Utilizar una cortina de agua para dispersar el gas teniendo cuidado de no dirigir el agua a la fuente de la fuga. Mantener fríos todos los equipos cercanos a la zona mediante el uso de agua.			
IX. Información sobre su transportación.			
UN- 1053 Guía 4		DOT: Gas tóxico e inflamable Sistema de emergencia en transporte para la industria química.	
X. Información sobre ecología.			
XI. Precauciones especiales.			
Durante su manejo y almacenamiento Los contenedores de este producto deben ser protegidos de daño físico, electricidad estática, luz directa del sol, alejados de fuentes de ignición, de ácido nítrico concentrado, oxidantes fuertes, otros cilindros presurizados y líquidos o gases corrosivos. La temperatura de almacenamiento de los cilindros no debe exceder los 52 °C, y el área debe estar bien ventilada.			
Otras precauciones: Desechos: El gas debe pasarse sobre disolución de cloruro férrico, cuidando que esta solución no sea succionada hacia el tanque, por lo que debe colocarse una trampa de seguridad entre disolución y el tanque. Debe tenerse especial, cuidado con los cilindros vacíos, pues pueden contener residuos peligrosos que sólo pueden ser tratados por los distribuidores.			



3.4 Estudio HAZOP

El estudio HAZOP en la planta Hidrodesulfuradora de Naftas se condujo del 2 de diciembre del 2002 al 26 de Febrero del 2003 en un periodo de 19 sesiones.

La Metodología HAZOP fue seleccionada para este análisis debido a su aplicabilidad para identificar y analizar los riesgos de proceso.

El estudio fue conducido por un equipo de personas con conocimientos en el diseño y la operación del equipo de proceso, y por un líder del equipo conocedor de la metodología HAZOP, el grupo multidisciplinario consistió de ingenieros y personal de operación de la planta Hidrodesulfuradora y de la UNAM. El equipo reviso el diseño de las instalaciones previa actualización de los diagramas de tubería e instrumentación y del Diagrama de flujo de proceso de la planta en estudio.

La planta para su estudio se dividió en los siguientes circuitos:

- ↓ Carga
- ↓ Precalentamiento
- ↓ Reacción
- ↓ Separación
- ↓ Compresión y recirculación de hidrógeno
- ↓ Desbutanización
- ↓ Desfogue

En estos nodos se incluyeron equipos, tuberías y controles .



3. Trabajo en campo

3.4.1. Registros de estudio HAZOP Torre desbutanizadora.

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 9 Torre desbutanizadora DA.-2001.		
	Diagramas: 3.1 y 3.3	Productos: Nafta ligera, gas combustible	
LOI: 60%	LOS:65%	LSI: 45%	LSS: 75%
Desviación: Bajo nivel			

Causa: Falla del directo en posición de abierto de la FV-2026,		
Consecuencias. 1. Incumplimiento al programa de entrega de producto. 2. Cavitación y daño de bombas GA-2006A/R con posible fuga e incendio en la línea de descarga de la torre DA-2001.. 3. Cavitación y daño de bombas GA-2004A/R con posible fuga e incendio en el reflujo de la torre DA-2001. 4. Incremento de temperatura en la torre DA-2001 debido al sobrecalentamiento en el fondo. 5. Productos fuera de especificación.		
Protecciones: 1. Programa de mantenimiento a la válvula del directo de FV-2026. 2. Alarma por bajo nivel LAL-2012 en DA-2001. 3. Indicadores locales de nivel LG-2012 en DA-2001. 4. Indicadores de temperatura TI-2000-47 y TI-2000-51. 5. Procedimiento rutinario de análisis de laboratorio. 6. Programa de rotación de equipo mecánico. 7. Indicador de presión PI-2023 ubicado en el domo de la torre DA-2001.		
Recomendaciones: 1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la torre DA-2001 ubicada antes de las bombas GA-2006A/R en la línea de 24" para que en caso de siniestro se pueda aislar. Considerando que se encuentra una línea de 10" que también sale por el fondo de la torre y está cerca de las bombas, lo que se recomienda es la instalación de VAAR's en ambas líneas. 2. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-2006 ubicada antes de las bombas GA-2004A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar. 3. Habilitar analizador de azufre AI-2002 ubicado en la línea de descarga de fondos de la torre DA-2001. 4. Modernización del sistema de detectores de mezclas de hidrocarburos de acuerdo a la norma ANSI/ISA-584.01 y de acuerdo al documento normativo DG-GPASI-2720 Rev. 1 5. Verificar el cumplimiento del programa de mantenimiento. 6. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.		
Frecuencia: (1), 1	Gravedad:(2), 2	Riesgo:((3), 3 Clase: A



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 9 Torre desbutanizadora DA-2001.		
	Diagramas: 3.1 y 3.3	Productos: Nafta ligera, gas combustible	
LOI: 60%	LOS: 65%	LSI: 45%	LSS: 75%
Desviación: Alto nivel			

Causa: Planta BTX fuera de operación.			
Consecuencias: 1. Incremento de nivel en el tanque FA-2006 (reflujo de domo). 2. Envío de líquidos a unidad fraccionadora con posible paro de planta. 3. Disminución de producción de HDS de naftas.			
Protecciones: 1. Programa de mantenimiento a la válvula del directo de FV-2026. 2. Alarma por bajo nivel LAL-2012 en DA-2001. 3. Indicadores locales de nivel LG-2012 en DA-2001. 4. Indicadores de temperatura TI-2000-47 y TI-2000-51. 5. Procedimiento rutinario de análisis de laboratorio. 6. Programa de rotación de equipo mecánico. 7. Indicador de presión PI-2023 ubicado en el domo de la torre DA-2001.			
Recomendaciones: 1. Alarma por alto nivel LAH-2012. 2. Indicador local de nivel LG-2012. 3. Procedimientos operativos.			
Frecuencia: (1), 1	Gravedad: (3), 3	Riesgo: (4), 4	Clase: B



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 9 Torre desbutanizadora DA-2001.		
	Diagramas: 3.1, 3.3 y 3.3A ²		Productos: Nafta ligera, gas combustible
LOI: 10.5 kg/cm ²	LOS: 13.5 kg/cm ²	LSI: 10 kg/cm ²	LSS: 14.5 kg/cm ²
Desviación: Alta presión			

<p>Causa: Falla de agua de enfriamiento de los intercambiadores EA-2006A/B.</p>
<p>Consecuencias.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Paro de más de una planta. 2. Ruptura de tubos de los intercambiadores EA-2006A/B y contaminación de agua de enfriamiento con posible incendio en torres de agua de enfriamiento CT-103. 3. Disminución de nivel en el acumulador de reflujo FA-2006 en el domo de la torre DA-2001. 4. Cavitación y daño a las bombas GA-2004A/R con posible fuga por sellos e incendio. 5. Incumplimiento al programa de entrega de producto. 6. Paro de más de una planta.
<p>Protecciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Alarma por baja presión en cabezal de agua de enfriamiento PAL-2007. 2. Indicador local de presión PI-2062 3. Procedimientos operativos. 4. Programa de monitoreo de explosividad en retorno de agua de enfriamiento hacia la torre CT-103. 5. Análisis de laboratorio en agua de CT-103. 6. Programa de rotación de equipo.
<p>Recomendaciones:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-2006 ubicada antes de las bombas GA-2004A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar. 2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro. 3. Habilitar registrador local de flujo FR-2031. 4. Verificar que la bomba de relevo del agua de enfriamiento en CT-103 este disponible.
<p>Frecuencia: (1), 2 Gravedad:(1), 1 Riesgo:(1), 3 Clase: A</p>



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 9 Torre desbutanizadora DA-2001.		
	Diagramas: 3.3 y 3.3A		Productos: Nafta ligera, gas combustible
LOI: 10.5kg/cm ²	LOS: 13.5kg/cm ²	LSI: 10kg/cm ²	LSS: 14.5kg/cm ²
Desviación: Baja presión			

<p>Causa: Falla de la FV-2026 en posición de abierto.</p> <p>Consecuencias. 1. Incumplimiento al programa de entrega de productos. 2. Cavitación y daño de bombas GA-2006A/R. 3. Fuga por sellos y posible incendio en bombas GA-2006A/R. 4. Incremento de temperatura en la torre DA-2001 debido al sobrecalentamiento por bajo nivel en el fondo. 5. Productos fuera de especificación. 6. Paro de más de una planta.</p> <p>Protecciones: 1. Válvulas laterales de la válvula FV-2026. 2. Indicador de presión PI-2023 en el domo de la torre DA-2001. 3. Programa de mantenimiento dos veces por año. 4. Alarma por bajo nivel LAL-2012 en DA-2001. 5. Indicadores locales de nivel LG-2012 en DA-2001. 6. Indicadores locales de temperatura TI-2000-47 y TI-2000-51. 7. Procedimiento rutinario de análisis de laboratorio. 8. Programa de rotación de equipo mecánico.</p> <p>Recomendaciones: 1. Instalar alarma por alta y baja presión en PV-2022. 2. Instalar alarmas por baja y alta presión en domo de la torre DA-2001. 3. Verificar el cumplimiento del programa de mantenimiento. 4. Contar con refaccionamiento en cantidad, calidad y tiempo. 5. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la torre DA-2001 ubicada antes de las bombas GA-2006A/R en la línea de 24" para que en caso de siniestro se pueda aislar. Considerando que se encuentra una línea de 10" que también sale por el fondo de la torre y está cerca de las bombas, lo que se recomienda es la instalación de VAAR's en ambas líneas. 6. Habilitar analizador de azufre AI-2002 ubicado en la línea de descarga de fondos de la torre DA-2001. 7. Modernización del sistema de detectores de mezclas de hidrocarburos de acuerdo a la norma ANSI/ISA-S84.01 y de acuerdo al documento normativo DG-GPASI-2720 Rev. 1 8. Verificar el cumplimiento del programa de mantenimiento. 9. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.</p>
<p>Frecuencia: (1), 1 Gravedad:(2), 2 Riesgo:(3), 3 Clase: A</p>



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 9 Torre desbutanizadora DA-2001.		
	Diagramas: 3.1, 3.3 y 3.3A		Productos: Nafta ligera, gas combustible
LOI: 10.5 kg/cm ²	LOS: 13.5 kg/cm ²	LSI: 13.5 kg/cm ²	LSS: 14.5 kg/cm ²
Desviación: Baja temperatura			

Causa: Falla de la mampara de en posición de cerrado en la chimenea del calentador BA-2002.
Consecuencias: 1. Apagado del calentador por sofocamiento. (Falta de entrada de O2) 2. Posible explosión por acumulación de gas combustible en el hogar del calentador
Protecciones: 1. Analizador de oxígeno AR-2005. 2. Indicadores de temperatura en cuerpo del calentador con señal en cuarto de control TI-2000-37, TI-2000-39, TI-2000-38, TI-2000-40, TI-2000-41. 3. Registrador de flujo FR-2023 y registrador de alta presión PR-2023 de consumo de gas combustible. 4. Registrador de temperatura TR-2018 en la salida del calentador. 5. Mirillas en el cuerpo del calentador. 6. Procedimientos de rutinas de inspección al calentador BA-2002. 8. Indicador de temperatura en fondo de la torre TI-2000-36 , en el domo TI-2000-51 y en plato 5 TI-2000-47. 9. Análisis de laboratorio de Nafta desbutanizada dos veces por turno. 10. Programa de mantenimiento. 11. Procedimientos operativos.
Recomendaciones: 1. Habilitar analizador de azufre en la línea de nafta desbutanizada hacia a BTX y almacenamiento. 2. Modernización de manovacuómetros del calentador BA-2002. 3. Cancelar señalizaciones obsoletas para evitar confusiones operativas tanto en campo como en cuarto de control. 4. Modernización de accionamiento de mamparas en la chimenea de los calentadores.
Frecuencia: (2), 2 Gravedad:(2), 2 Riesgo:(3), 4 Clase: B



3. Trabajo en campo

3.4.2. Registros de estudio HAZOP Sección de Reacción

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 3 Sección de reacción DC-2001A		
	Diagramas: 3.2	Productos: Gasolina amarga e hidrógeno.	
LOI: No aplica	LOS: No aplica	LSI: No aplica	LSS: No aplica
Desviación: Sólidos en suspensión			

Causa: Mala calidad de la gasolina del TV-145. (gasolinas del SNR).
Consecuencias. 1. Alta caída de presión en el reactor DC-2001-A (ocasionada por el depósito de sólidos en la parte alta del reactor).
Protecciones: 1. Filtros FG-2001C/D y FG-2001A/B. 2. Análisis de laboratorio de gasolina de FA-2001 y BR-100. 3. Inspección visual de la gasolina por cada turno de operación.
Recomendaciones: 1. Modernizar el diseño de los filtros FG-2001A/B.
Frecuencia: (2), 3 Gravedad:(4), 4 Riesgo:(7), 9 Clase: D



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrosulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 3 Sección de reacción DC-2001A		
	Diagramas: 3.2	Productos: Gasolina amarga e hidrógeno.	
LOI: No aplica	LOS: No aplica	LSI: No aplica	LSS: No aplica
Desviación: Alto contenido de olefinas y compuestos nitrogenados			

Causa: Gasolina de mala calidad en el TV-145 (gasolinas de SNR).			
Consecuencias: I. Aumento de temperatura del reactor por mayor exotermicidad.			
Protecciones: I. No hay protecciones.			
Recomendaciones: I. Incluir en el análisis de laboratorio una medición de contenido de olefinas y compuestos nitrogenados.			
Frecuencia: (3), 3	Gravedad:(4), 4	Riesgo:(9), 9	Clase: D



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 3 Sección de reacción DC-2001A		
	Diagramas: 3.2	Productos: Gasolina amarga e hidrógeno	
LOI: No aplica	LOS:300 ppm	LSI: No aplica	LSS: 1200 ppm
Desviación: Exceso de azufre en la gasolina de carga			

Causa: Mala calidad en la gasolina de carga.			
Consecuencias. 1. Producto fuera de especificación.			
Protecciones: 1. Análisis de laboratorio. 2. Procedimientos operativos del reactor.			
Recomendaciones: 1. Revisión de carta-compromiso para evitar el suministro de gasolina con alto contenido de azufre.			
Frecuencia: (3), 3	Gravedad:(4), 4	Riesgo:(9), 9	Clase: D



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 3 Sección de reacción. DC-2001A		
	Diagramas: 3.2	Productos: Gasolina amarga e hidrógeno	
LOI: 278 °C	LOS: 280°C	LSI: 275°C	LSS: 300°C
Desviación: Menor temperatura en el reactor			

Causa: Falla de gas combustible debido a la falla de la válvula PV-2004.
Consecuencias. 1. Producto fuera de especificación.
Protecciones: 1. Línea de directo. 2. Tanque de almacenamiento de gasolina dulce TV-107. 3. Tanque de gasolina amarga TV-105 y TV-106 para evitar contaminación de TV-107. 4. Alarma por baja presión PAL-2004. 5. Programa de mantenimiento.
Recomendaciones: 1. Verificar que se cumpla con el programa de mantenimiento..
Frecuencia: (4), 4 Gravedad:(4), 4 Riesgo:(10), 10 Clase: D



3. Trabajo en campo

	Compañía: Refinería	Área/Proceso: Hidrodesulfuradora de Naftas	Fecha: 21-enero-2003
	Nodo: 3 Sección de reacción. DC-2001A		
	Diagramas: 3.2	Productos: Gasolina amarga e hidrógeno	
LOI: 23Kg/cm ²	LOS: 28Kg/cm ²	LSI: 23Kg/cm ²	LSS: 29Kg/cm ²
Desviación: Alta presión en el reactor			

Causa: Alto contenido de sólidos en suspensión en la gasolina de carga.
Consecuencias. 1. Alta presión diferencial en el reactor. 2. Alta temperatura en la descarga del compresor GB-2001. 3. Vibración excesiva y posible disparo del compresor..
Protecciones: 1. Filtros FG-2001C/D en la salida del tanque de almacenamiento TV-145. 2. Indicadores de presión y presión diferencial en campo. 4. Lecturas de presión realizadas a través de un manómetro patrón una vez por semana.
Recomendaciones: 1. Habilitar el diseño de los filtros FG-2001-A/B.
Frecuencia: (2), 3 Gravedad:(4), 4 Riesgo:(7), 9 Clase: D

3.5 Análisis de Árbol de Fallas

Para el árbol de fallas se seleccionó como escenario (evento culminante) el incendio en del calentador BA-2002 que sirve como rehervidor de fondos de la torre desbutanizadora DA-2001 de la planta hidrodesulfuradora de naftas, debido a su alta probabilidad de ocurrencia, el cual se muestra en el diagrama de análisis de árbol de fallas incendio de la calentador BA-2002. El incendio del calentador BA-2002 puede ser catastrófico ya que está ubicado frente a la torre DA-2001, ésta puede sobrepresionarse por el calentamiento externo y



puede provocar su ruptura, ocasionando serios daños al personal y a las instalaciones de planta Hidrodesulfuradora de naftas.

Tabla 3.2 Descripción de los escenarios potenciales de accidente

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS		
ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA/FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
Incendio en el calentador a fuego directo BA-2002.	El incendio en el calentador BA-2002 puede ocasionarse debido a un bajo nivel en la torre desbutanizadora DA-2001, falla en posición de abierta la PV-2019 o del PIC-2019 mandando abrir la PV-2019 (gas combustible a quemadores), por falla en posición de cerrado cualquiera de las válvulas de alimentación al calentador BA-2002 o que falle cualquiera de los registradores FRC's mandando cerrar las válvulas FV's.	Daños internos al calentador y a su sistema de instrumentación, descontrol operacional por la flujo a la torre DA-2001, incumplimiento al programa de entrega de productos, paro de más de una planta. Emisión de CO ₂ y CO a la atmósfera.

Este escenario fue seleccionado sólo para mostrar la secuencia de fallas que provocaría un incendio en el calentador, y no por que este evento realmente vaya a ocurrir o haya sucedido.

En el árbol de fallas del diagrama No. 3.4 (Apéndice C) se muestra la secuencia lógica de eventos que deben suscitarse para que ocurra el evento culminante. A cada evento



intermedio se le asignó una probabilidad de ocurrencia de acuerdo a la tabla No. 15.1. (criterio utilizado para evaluar la probabilidad en el árbol de fallas), obteniéndose que el evento culminante tiene una probabilidad de $2.81E-3$.

TABLA 3.3. Potencial de pérdida y pérdida máxima probable (en dólares)

PROBABILIDAD (P)	FRECUENCIA PROBABLE (F)
10^0	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
10^{-1}	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
10^{-3}	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10^{-5}	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
10^{-7}	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
10^{-9}	No se ve probabilidad de que ocurra
POTENCIAL DE PÉRDIDA (PO)	PÉRDIDA PROBABLE TOTAL (en dólares)
1	1 a 100
10^{-1}	100 a 1,000
10^{-2}	1,000 a 10,000
10^{-3}	10,000 a 100,000
10^{-4}	100,000 a 1,000,000
10^{-5}	1,000,000 a 10,000,000
10^{-6}	10,000,000 a 100,000,000
10^{-7}	100,000,000 a
10^{-8}	1,000,000,000
	Mayor de 1,000,000,000



3.6 Resultados del análisis de consecuencias

Para el análisis de consecuencias el escenario seleccionado fue la ruptura catastrófica del FA-2006 que es el acumulador de reflujo de la torre desbutanizadora DA-2001.

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

A continuación se muestran los datos necesarios para realizar el análisis de consecuencias. Para definir la cantidad de material a dispersarse se tomo en cuenta el volumen del tanque FA-2006 y el nivel de operación que se maneja normalmente.

3.6.1 Datos necesarios para el análisis

Material

<i>Material identificado:</i>	Gasolina desulfurada
<i>Presión de descarga</i>	12.75 bar
<i>Temperatura de descarga</i>	54 °C
<i>Cantidad de material a descargarse</i>	12300 Kg

Escenario

<i>Tipo de evento</i>	Ruptura Catastrófica
<i>Fase</i>	Líquido



Condiciones meteorológicas

<i>Velocidad del viento m/s</i>	1.5	1.5	2.77
<i>Estabilidad de Pasquill</i>	F	D	A
<i>Temperatura ambiente °C</i>	25.5	25.5	25.5
<i>Humedad relativa fracción</i>	0.95	0.95	0.95

3.6.2 Resultados de la formación e incendio tardío de un charco

<i>Categoría</i>	1.5/F	1.5/D	2.77/A
<i>Velocidad de evaporación del charco Kg/s</i>	3.79255	4.02226	4.35726
<i>Máximo radio de la alberca</i>	23.9977	23.8832	23.7488
Distancia m			
<i>Nivel de radiación 1.4 Kw/m²</i>	62.8753	62.6293	62.9077
<i>Nivel de radiación 5 Kw/m²</i>	26.0539	39.6373	41.2534
<i>Nivel de radiación 12.5 Kw/m²</i>	26.0539	25.9311	26.8130

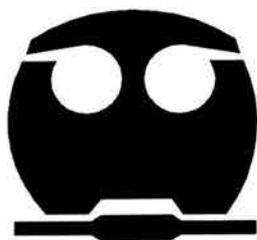


3.6.3 Resultados de la explosión de una nube no confinada.

Modelo de explosión usado: TNT

<i>Categoría</i>	Máxima distancia al nivel de sobrepresión m		
	1.5/F	1.5/D	2.77/A
<i>Sobrepresión. 0.0344738 bar</i>	179.37	165.637	97.385
<i>Sobrepresión 0.0689476 bar</i>	140.496	132.135	78.8479
<i>Sobrepresión 0.137895 bar</i>	118.127	115.018	71.3384

CAPÍTULO CUATRO:
RESULTADOS Y CONCLUSIONES.





4. Resultados y Conclusiones

4.1 Resultados del análisis HAZOP

Los resultados del análisis HAZOP son las recomendaciones hechas a la planta Hidrodesulfuradora de Naftas para incrementar su seguridad, con esto puede realizarse un plan de trabajo en donde las recomendaciones clase A tienen la mayor prioridad para llevarse a cabo.

Tabla No 4.1 Plan de trabajo resultante del análisis HAZOP de la planta Hidrodesulfuradora de Naftas

No.	Recomendaciones	Nivel	Esc.	Fecha de compromiso
1.	Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-2006 ubicada antes de las bombas GA-2004A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar.	A	105, 123.	JUNIO DE 2004
2.	Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.	A	105, 127,	JULIO DE 2004
3.	Habilitar analizador de azufre AI-2002 ubicado en la línea de descarga de fondos de la torre DA-2001.	A	105, 142, 143	OCTUBRE DE 2003
4.	Modernizar el sistema de detectores de mezclas de hidrocarburos de acuerdo a la norma ANSI/ISA-584.01 y de acuerdo al documento normativo DG-GPASI-2720 rev. 1	A	105, 127,	DICIEMBRE DE 2004
5.	Habilitar registrador local de flujo FR-2031.	A	123	DICIEMBRE DE 2004
6.	Instalar alarma por alta y baja presión en PV-2022 y en el domo de la torre DA-2001.	A	127, 128, 120, 121, 125, 126, 129	JUNIO DE 2003
7.	Incluir en el análisis de laboratorio una medición de contenido de olefinas y compuestos nitrogenados	D	33	AGOSTO DE 2003
8.	Revisión de carta-compromiso para evitar el suministro de gasolina con alto contenido de azufre.	D	34	AGOSTO DE 2003



4. Resultados y Conclusiones

Tabla No. 4.2 Lista de buenas practicas de operación que se realizan y deben seguir fomentándose.

No	Recomendaciones	Escn.
1.	Verificar cumplimiento del programa de mantenimiento.	21, 73, 91, 105, 127, 128, 136, 70, 88, 131, 22, 75, 93, 111, 137, 146, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 27, 35, 51, 56, 58, 59, 60, 61, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 86, 87, 89, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 104, 106, 107, 108, 109, 110, 112, 113, 114, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 124, 125, 126, 129, 130, 132, 133, 134, 135, 138, 139, 140, 141, 144, 145, 149, 151.
2.	Mantener buena comunicación interorganismos	70, 88, 137, 115
3.	Verificar que se cumpla con los cursos de capacitación contra incendio.	7
4.	Verificar que se cumpla con los procedimientos operativos.	77, 95, 133, 134, 135.
5.	Verificar que la bomba de relevo del agua de enfriamiento en CT-103 este disponible.	123
6.	Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y tiempo.	Inmediato 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 24, 25, 27, 51, 56, 69, 70, 72, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 86, 87, 88, 90, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 104, 114, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 125, 126, 129, 130, 138, 139, 140, 141, 22, 23, 85, 93, 103.
7.	Verificar la difusión de los procedimientos operativos	114
8.	Continuar con la buena comunicación Inter. Organismos	1, 14



4.1.1 Análisis de las recomendaciones

Se identificaron un total de 59 recomendaciones únicas además de 7 buenas practicas de operación. Muchas recomendaciones fueron repetidas resultando en un total de 126 recomendaciones. Un análisis de recomendaciones es como sigue:

Figura 4.1 Naturaleza de las recomendaciones



4.2 Resultados del análisis de Árbol de Fallas

El principal objetivo del análisis de árbol de fallas es encontrar la probabilidad de ocurrencia del evento culminante que en este caso fue el incendio del calentador BA-2002 que sirve de rehervidor de la torre DA-2001.

Para el evento seleccionado se calculó la probabilidad mediante el Análisis de Árbol de Fallas obteniéndose el siguiente resultado.



4. Resultados y Conclusiones

Escenario	Probabilidad con la técnica (FTA)
Incendio en el calentador a fuego directo BA-2002.	2.81E-3

- ✚ Para disminuir aun más la probabilidad de que se suscite el evento culminante estudiado se recomienda:
- ✚ Mantener siempre actualizados y en español los procedimientos de operación, mantenimiento, etc.
- ✚ Contar con los procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo al calentador.
- ✚ Supervisar que el trabajo se realice conforme se establece en el procedimiento.
- ✚ Mantener en forma frecuente la comunicación entre ingenieros y obreros, utilizando la terminología estándar, realizando repeticiones y retroalimentaciones, no dando mensajes muy largos y evitar realizarlas en ambientes ruidosos.
- ✚ Continuar dando mantenimiento preventivo y predictivo al calentador e instrumentos de control en las fechas establecidas, utilizando el material original y adecuado.

4.2.1 Conclusiones del análisis del árbol de fallas

Actualmente no se cuenta con un método general que resulte el más propicio para aplicarse a la mayoría de los eventos y obtener una probabilidad exacta, debido a varios factores como: la amplia gama de sustancias peligrosas, el manejo de las mismas, los procesos, la ubicación de las instalaciones, los factores humanos, entre otros. Sin embargo, se tiene una aproximación precisa con el Análisis de Árbol de Fallas el cual indica



4. Resultados y Conclusiones

la probabilidad de ocurrencia de dicho evento y ayuda a prevenir o predecir el evento culminante en dado caso que se obtenga una probabilidad alta.

Además se sugiere emplear tanto métodos cualitativos como cuantitativos para complementar un buen análisis, para que así de acuerdo con los resultados se pueda obtener una Opinión Técnica correspondiente y a tiempo del seguimiento del estudio.

Finalmente el seguimiento de la elaboración del Análisis permitirá la evaluación de los eventos con mayor índice de probabilidad, para poder enfatizar en las recomendaciones y así disminuir la probabilidad de ocurrencia en el caso que así se requiera.

4.3 Resultados del análisis de consecuencias

Consecuencias de los efectos de radiación de un incendio tardío de un charco

Una vez conocida la radiación recibida en función de la distancia, se puede establecer un diagrama térmico-distancia que proporcione los flujos recibidos en un punto determinado y hacer una comparación considerando la vulnerabilidad de las personas a determinados flujos de radiación térmica. Los análisis se realizaron a tres diferentes condiciones climatológicas, para hacer el diagrama térmico-distancia se tomo la de 2.77/A ya que esta es la condición climatológica que predomina en el lugar de estudio, ver diagrama 3.5 (Apéndice C).

Como elemento de comparación, la intensidad de radiación que recibimos del es aproximadamente 1 Kw/m^2 , niveles de radiación equivalentes a 1.6 Kw/m^2 pueden tolerarse sin sensaciones de incomodidad durante periodos de tiempo relativamente prolongados. En la tabla No. 4.3 Se muestran algunos valores de nivel de radiación y sus consecuencias.



4. Resultados y Conclusiones

Tabla 4.3 Efectos de radiación térmica

Nivel de radiación (Kw/m ²)	Consecuencias
1.4	Máxima soportable para personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado
3	Zona de alerta
5	Máxima soportable por personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado máximo 3 min.
8	Umbral de letalidad (1% de afectación por incendio para un tiempo de exposición de 1 min.
12.5	Ignición de recubrimientos plásticos. Extensión del incendio.
40	Destrucción de equipos / tanques

Consecuencias de la explosión de una nube de vapor no confinada

Una vez conocida la sobrepresión en función de la distancia se puede graficar las elipses de sobrepresión para conocer los efectos ocasionados a una distancia determinada de acuerdo con los datos de la tabla 4.4. Para construir las elipses de sobrepresión se tomaron los resultados de la categoría 2.7F ya que esta es la condición climatológica que predomina en el lugar de estudio, ver diagrama 3.6.(Apéndice C)

Tabla No.4.4 Niveles de sobrepresión

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



4. Resultados y Conclusiones

Tabla 4.5. Evaluación de Daños en plantas y refinerías por efectos de sobrepresión

PRESION (psi)	REFINERIAS	PLANTAS
0.5	<ul style="list-style-type: none"> Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): deformación de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuarto de control (techo metálico): ruptura de ventanas y medidores. Cuarto de control (techo de concreto): ruptura de ventanas y medidores. Torre de enfriamiento: fallas de mamparas.
1.0	<ul style="list-style-type: none"> Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): deformación de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuarto de control (techo metálico): conectores dañados por colapso del techo. Cuarto de control (techo de concreto): conectores dañados por colapso del techo. Tanque de almacenamiento (techo cónico): colapso del techo.
2.0		<ul style="list-style-type: none"> Calentador: fractura de ladrillos. Reactor químico: ruptura de ventanas y medidores. Filtros: falla de paredes de concreto.
3.0	<ul style="list-style-type: none"> Edificio de mantenimiento: deformación de la estructura. 	<ul style="list-style-type: none"> Tanque de almacenamiento (techo cónico): el equipo se levanta (50% llenado). Cubículo de instrumentos: líneas de fuerza dañadas, controles dañados. Regenerador: el equipo se mueve y las tuberías se rompen. Tanque de almacenamiento (techo flotante): el equipo se levanta (50%).
5.0	<ul style="list-style-type: none"> Torre de regeneración: deformación de la columna. Edificio de mantenimiento: derrumbe de muros de tabique, deformación de la estructura. Tuberías: derrumbe de la estructura y rompimiento de líneas. Tanque de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos ó medio llenos, dependiendo de su capacidad. 	<ul style="list-style-type: none"> Calentador: unidad destruida. Regenerador: marcos colapsados. Motor eléctrico: daño por proyección de partículas. Ventilador: carcaza y caja dañadas.
10.0	<ul style="list-style-type: none"> Cuarto de control (construcción de concreto) y estructura de fierro): derrumbe de estructura de fierro. 	<ul style="list-style-type: none"> Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida. Transformador eléctrico: unidad destruida. Ventilador: unidad destruida. Regulador de gas: controles dañados, carcaza y caja dañadas. Columna de extracción: la unidad se mueve de sus cimientos.



4. Resultados y Conclusiones

20.0		<ul style="list-style-type: none">• Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.
30.0		<ul style="list-style-type: none">• Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos.• Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.

4.3.1 Conclusiones del análisis de consecuencias

- ✚ Aplicar en forma religiosa los sistemas de permisos de trabajo tanto para trabajos de bajo riesgo como para los de alto riesgo.
- ✚ Continuar con la aplicación de los lineamientos que establece la Administración del Cambio, elemento 13 del SIASPA, con el propósito de mantener actualizados los DTI's, DFP's de la planta, así como la aplicación el análisis HazOp de cada modificación que se realice en la planta tanto de equipos, proceso y operaciones, para detectar todos los riesgos potenciales y no potenciales que puedan suscitarse con dicha modificación (documento normativo DG-GPASI-IT-04901).
- ✚ Mantener en automático todos los instrumentos y sistemas de seguridad que así estén configurados para evitar, que en el caso de que se suscite algún incidente, tengan que ser actuados en forma manual. Así mismo, se deben de incluir en el procedimiento para el manejo de cambios las condiciones bajo las cuales se realizará el cambio de modo automático a manual para identificar los riesgos asociados con este tipo de cambios así como para determinar las medidas adecuadas de prevención si se llegará a suscribir un evento estando en modo manual alguno de los sistemas de control operacional o de seguridad.



4. Resultados y Conclusiones

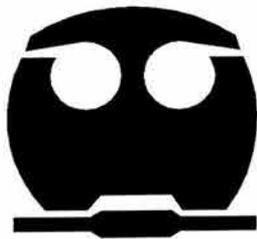
- ✚ Continuar con la difusión de los planes de contingencias reforzándolo con ejercicios o simulacros de emergencia y evacuación de casos previstos e imprevistos para identificar y corregir las fallas en los planes de emergencias y desastres, verificar los tiempos de respuesta a emergencias, corroborar el correcto funcionamiento del sistema contra incendio de la planta, así como los simulacros operacionales, esto de acuerdo al GPASI 03000 y 02701.
- ✚ Cumplir estrictamente el programa anual de inspección técnica, seguridad y contra incendio de la planta.
- ✚ Reparar las fugas que lleguen a presentarse lo más pronto posible, aun cuando sean pequeñas, y no esperar a que se origine una de mayor tamaño

El resultado de un programa efectivo de manejo de seguridad no solamente será beneficioso para la salud de los trabajadores y la conservación del ambiente, sino que también llevará, en términos generales, a un mejoramiento del desarrollo socioeconómico del sector, a través de los siguientes factores.

- ✚ Reducción de riesgos de pérdidas comerciales (ahorros en los gastos originados por paros de producción, o ahorros en costos de manutención, de materias primas, y en la disposición de residuos.
- ✚ Reducción de costos de seguros
- ✚ Mejoramiento de la reputación de la empresa

Finalmente es preciso destacar que la Seguridad y Protección al Ambiental son valores con igual prioridad que la producción el transporte, las ventas, la calidad y los costos, todos los incidentes se pueden prevenir y la Seguridad, Salud y Protección Ambiental son responsabilidad de todos y condición de empleo.

BIBLIOGRAFÍA





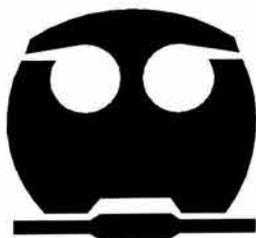
Bibliografía

1. Santamaría Ramiro J.M y Braña Aisa, P.A. *Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria*. Fundación MAPFRE (1994).
2. Norma oficial mexicana NOM-005-STPS-1998. *Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas peligrosas*. Diario oficial, 22 de octubre de 1998.
3. Norma oficial mexicana NOM-114-STPS-1994, *Sistema para la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas en los centros de trabajo*. Diario oficial, 4 de octubre de 1995.
4. Ben Schuster, BRS Associates. *The Chemical Industry and Toulouse Lessons After Bhopal*. Chemical Engineering Progress, January 2000, 44-45.
5. *Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al ambiente*, Publicada en el D.O.F. de fecha 28 de enero de 1988.
6. Gleen E. Mahnken, FM Global. *Use case Histories to energize your HAZOP*. Chemical Engineering Progress. March 2001, 73-78.
7. Devenport S.A. "A Survey of Vapour Cloud Incidents". CEP, September 1977, pp. 54-62.
8. Meyers, Robert Allen. *Handbook of Petroleum Refining Process*. Mc Graw Hill New York, 1986.
9. *La Industria Petrolera en México*. Petróleos Mexicanos. 1985.



10. www.semarnat.gob.mx.
11. Torres Guzmán Sonia, *Análisis de Riesgos del circuito de gas combustible suministrado a la planta Hidrodesulfuradora de Naftas (Hidros I) de la Refinería Miguel Hidalgo, Tula HGO*. Facultad de Química, UNAM, 2001. Pag. 16-27.
12. Malvaez Camacho Alfredo Adrian, *Análisis de Riesgos HAZOP, Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias del Circuito de Carga de una Planta Hidrodesulfuradora de Naftas*. Facultad de Química UNAM. 2001. Pag. 21-26.
13. Reynaldo Ramírez Maldonado, *análisis de Riesgos HAZOP, Análisis de Árbol de Fallas y de Consecuencias del circuito de Enfriamiento (Propano) de una planta desparafinadora de aceites pesados*. Facultad de Química. UNAM. 2003. Pág. 48-52.
14. *Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en Materia de Evaluación del Impacto Ambiental*.

APÉNDICES





Apéndice A

GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS EN LAS TÉCNICAS
PARA ANÁLISIS DE RIESGO

Accidente: Significa cualquier acontecimiento no planeado que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema causando daño a las personas, al equipo, a los materiales y al medio ambiente, y pueden ser accidentes menores o accidentes mayores.

Accidente menor: Es un acontecimiento no deseado que provoca daños leves a las personas, siendo necesaria la aplicación de primeros auxilios para que se incorporen nuevamente a sus actividades normales.

Accidente mayor: Cualquier suceso tal como una emisión, fuga, vertido, incendio o explosión que sea consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial y que pueda provocar una situación de gran riesgo, catástrofe o calamidad pública, inmediata o diferida, para las personas, para el medio ambiente y para los bienes propiedad de los accionistas, ya sea en el interior o en el exterior de las instalaciones, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas

. *Análisis de riesgos:* Es una disciplina que combina la evaluación del proceso desde el punto de vista de la ingeniería con técnicas matemáticas que permiten realizar estimaciones de frecuencias / probabilidades y consecuencias de accidentes. Los resultados del análisis de riesgos pueden ser utilizados para la toma de decisiones (gerencia o administración de riesgos), ya sea mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de riesgos o mediante la comparación con los niveles de riesgo fijados como objetivo en una determinada actividad.

Análisis de riesgos de procesos: Es un esfuerzo organizado para identificar, por medio de una serie de técnicas sistemáticas, las debilidades asociadas con el diseño u operación del proceso que podrían conducir a consecuencias indeseables (perjuicios personales o daños a equipos catastróficos) y determinar las medidas para controlar estos riesgos y eliminar o al menos mitigar sus consecuencias.



Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP): HAZOP (Hazard and Operability Analysis) quiere decir en castellano Análisis de Riesgos y Operabilidad. La palabra Riesgo viene de la palabra en inglés Risk y la palabra Peligro viene de la palabra en inglés Hazard. Con base a la explicación anterior, HAZOP debería traducirse como Análisis de Peligro y Operabilidad, sin embargo nosotros usaremos la palabra riesgo en lugar de peligro como se ha venido haciendo. Es una herramienta sistemática usada por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad, la cual usa una serie de palabras guía, que se aplican a cada parámetro del proceso seleccionado, para identificar, mediante la discusión propositiva y la generación de ideas: desviaciones de la intención de diseño de un sistema y sus procedimientos, las causas y consecuencias que las provocan y los sistemas de protección o mitigación de dichas causas y consecuencias, y que además, semicuantifica los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias o probabilidades y la gravedad, hace recomendaciones, las cuales clasifica y jerarquiza de acuerdo al nivel del riesgo encontrado, establece y jerarquiza las acciones para implementar las medidas correctivas determinadas por el equipo multidisciplinario.

Causa: Es la razón por la que se pueden producir desviaciones, es decir es lo que hace que un incidente o accidente ocurra. En general, podemos ubicarlas en errores que se ligan a las políticas, administración y errores humanos.

Circuito: Se denomina circuito a la sección de una planta de proceso específica, la cual esta bien delimitada y tiene características dentro del mismo proceso bien definidas por equipos y por segmentos de tubería.

Clase: Es la prioridad asignada a las acciones recomendadas sobre la base del nivel de riesgos encontrado basado en la matriz de riesgos.

Combustión: Es una reacción química en la que se libera energía a partir de la oxidación de un material. (Ver concepto del Apéndice C).

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).



Desviación: Son variaciones no deseadas en la intención de diseño (flujo, presión, temperatura, reacción, nivel, etc.) que se descubren mediante la aplicación sistemática de las palabras guía.

Escenario potencial: Es la relación de sucesos que tienen el riesgo potencial con probabilidad elevada de causar pérdidas.

Evento de riesgo: Determinación de un evento hipotético en el cual se toma en consideración la ocurrencia de un accidente bajo condiciones determinadas, definido mediante modelos matemáticos y criterios acordes a las características de los procesos y/o materiales, las zonas potencialmente afectadas.

Frecuencia: Es el número de incidentes o sucesos indeseables que se han observado en un lapso de tiempo dentro de la planta.

Gravedad: Son las consecuencias dañosas que puede tener un accidente dentro de la planta. Su nivel se asigna con ayuda del equipo multidisciplinario.

Incidente: Es el evento o 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, puede tener o no consecuencias para el personal, la población, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria).

Índice de riesgo: Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad. Índice de riesgo (pérdida / año) = Índice de frecuencia (accidente / año) x índice de gravedad (pérdida / accidente).

Medida correctiva: Es la acción que reduce la probabilidad del riesgo identificado o mitiga sus efectos cuando dicho riesgo se transforma en accidente.

Mitigación: Conjunto de acciones para disminuir las consecuencias de un accidente.

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

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



Palabra guía: Es aquella que indica la desviación parcial o total de la intención de la variable de proceso.

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

Peligro: Significa cualquier condición física ó química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad. Serie de eventos no planeados que da como resultado una consecuencia no deseada.

Pérdida: Significa un derroche innecesario de recursos.

Probabilidad: Es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es de 0 y la absoluta certeza es de 1.

Protecciones: Son todas las acciones o medidas que se toman dentro del sistema de estudio para mitigar o reducir la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente.

Recomendaciones: Son todas las acciones o medidas que se pueden implementar para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente y que emanan del análisis de riesgos.

Riesgo: Significa la posibilidad de sufrir pérdidas o bien se puede considerar 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.

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



Apéndice B

MODELO PARA EL CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL ÁRBOL DE FALLAS POR EL MÉTODO DE CONJUNTOS MÍNIMOS.

George Boole (1815-1864) estableció que la mente humana tiene como mecanismo básico en la toma de decisiones, la asociación de elementos simples que adoptan dos posiciones: aceptación o negación, ilustrándolo en su libro "Teoría del pensamiento" y desarrollando un álgebra que tomo su nombre. El álgebra de Boole realiza sus dos operaciones con dos estados: verdadero y falso, hacia arriba o hacia abajo, alto o bajo, 1 o 0, actuando o no actuando, etc., lo cual establece un sistema binario.

Los árboles se pueden reestructurar utilizando esta técnica también conocida como análisis de conjuntos mínimos (Minimal Cut Set Analysis) la cual consiste en eliminar los eventos básicos, secundarios e intermedios redundantes expresando las conexiones lógicas, Y y O, en términos del álgebra de Boole.

Tabla B. 1 Reglas booleanas de uso frecuente en el análisis de árbol de fallas

REGLA	FORMA MATEMÁTICA
Conmutativa:	$A \cdot B = B \cdot A$ $A + B = B + A$
Asociativa:	$A \cdot (B \cdot C) = (A \cdot B) \cdot C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributiva:	$A \cdot (B + C) = A \cdot B + A \cdot C$ $A + (B \cdot C) = (A + B) \cdot (A + C)$
Idempotente	$A \cdot A = A$ $A + A = A$
De la Absorción:	$A \cdot (A + B) = A$ $A + (A \cdot B) = A$



El procedimiento consiste en ordenar la estructura del árbol de fallas de forma que se pueda expresar en términos de ecuaciones algebraicas booleanas para reducir las ecuaciones, la reducción implica la introducción de los elementos inmediatamente relacionados con el evento que se está describiendo en la ecuación algebraica así entonces, la ecuación final quedara en términos de eventos básicos que serán posteriormente reestructurados en un nuevo árbol (árbol reducido) que es matemáticamente equivalente al primero.

Un árbol de fallas siempre puede describirse con una expresión equivalente del álgebra de Boole. Una parte importante del análisis FTA es la identificación de las agrupaciones de sucesos que pueden dar origen al evento culminante. Estas agrupaciones se denominan conjuntos de separación (cut sets), los conjuntos de separación identificados pueden manipularse con el fin de simplificarlos, reduciéndolos a una serie equivalente con un número menor de conjuntos que se denominan conjuntos mínimos (minimal cut sets). Un conjunto mínimo es aquel que no contiene otros conjuntos.

Ya obtenido el árbol por medio de los conjuntos mínimos se debe calcular la probabilidad de ocurrencia del evento culminante, las herramientas usadas para ello son las siguientes:

Teoría de Conjuntos.

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

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

Calculo de la Probabilidad.

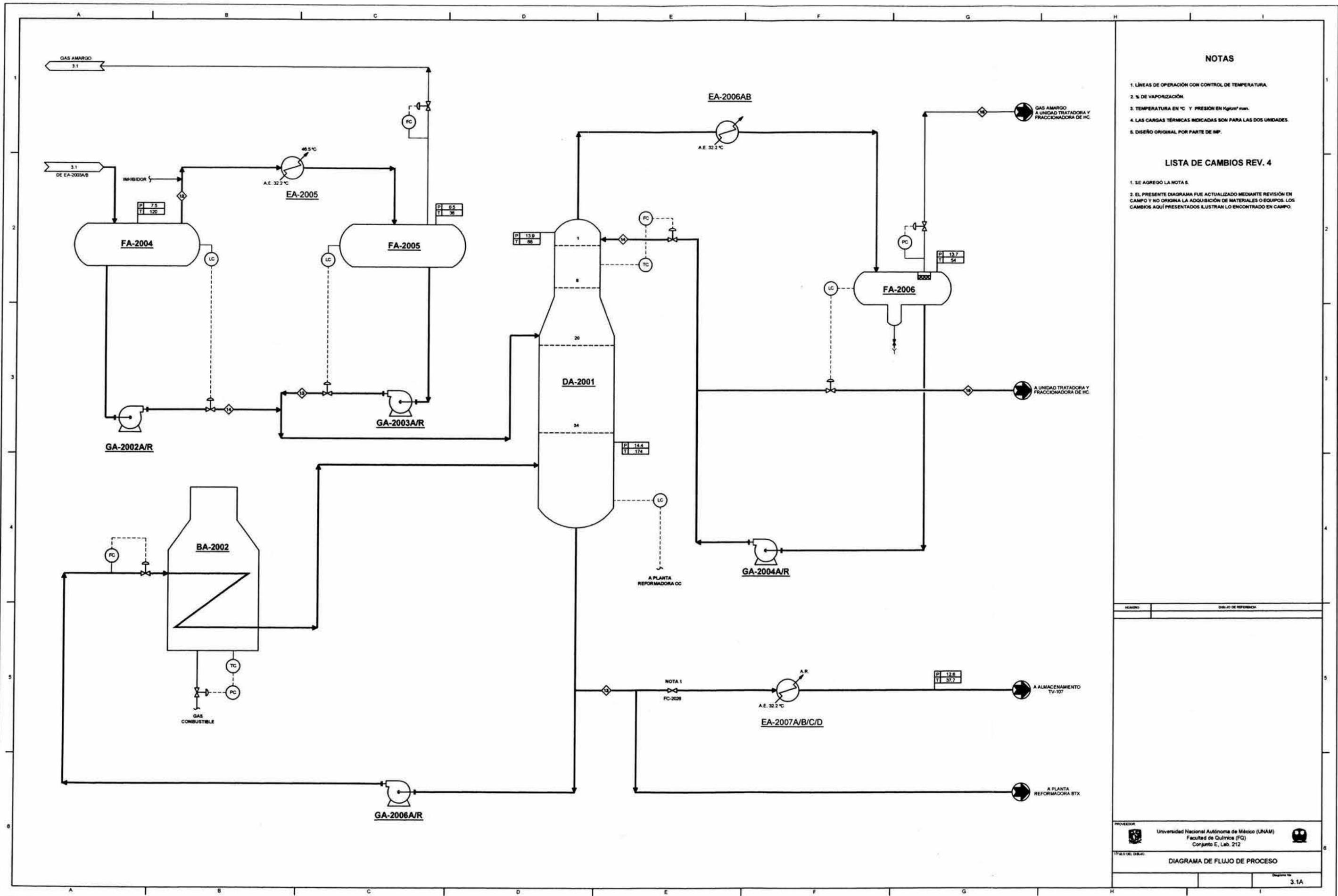
$$P = 1 - e^{-(f*t)}$$

Donde:

f = eventos / año

t = años

En el caso de este cálculo la frecuencia de ocurrencia se puede obtener directamente de la experiencia vertida en el análisis HAZOP



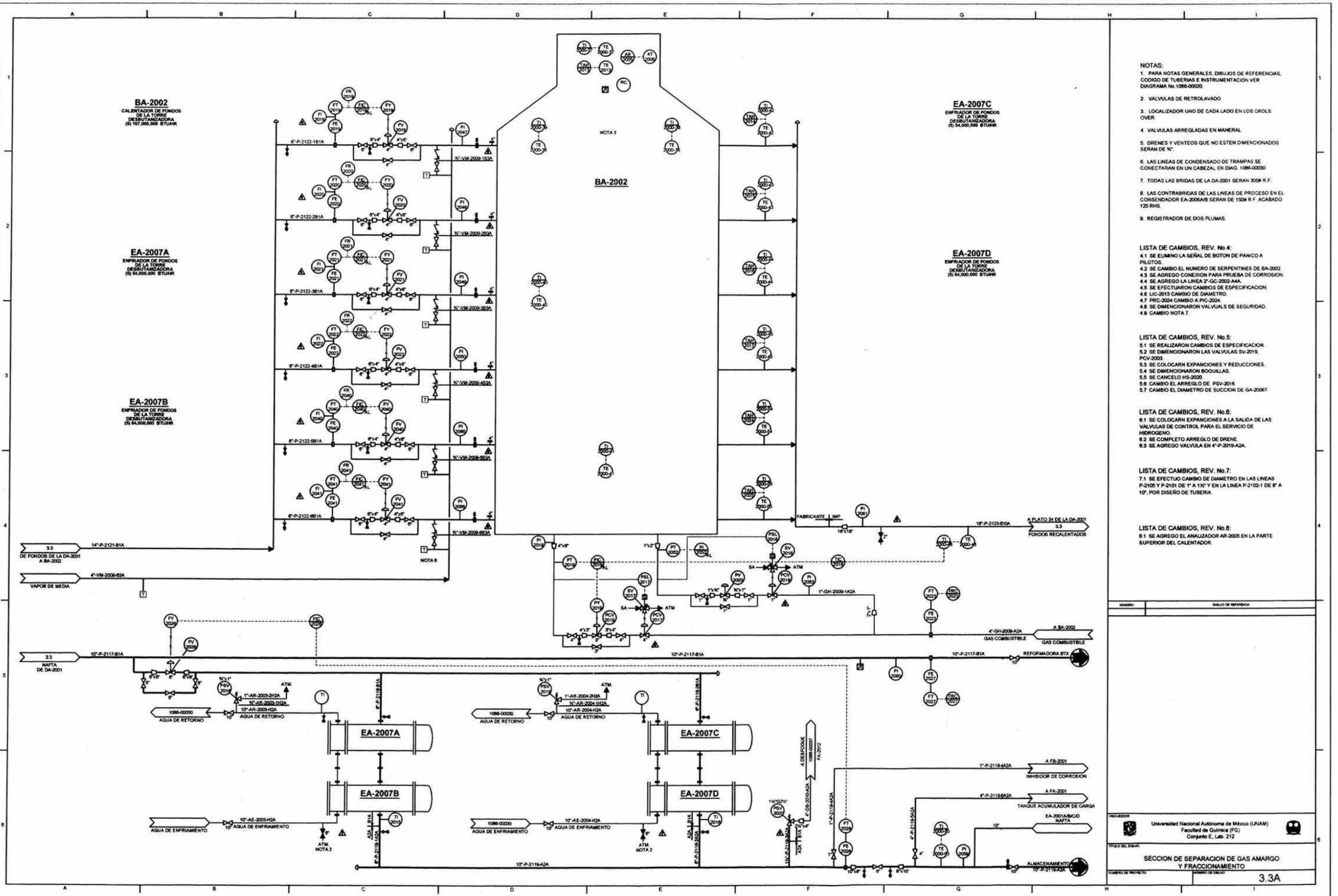
NOTAS

1. LINEAS DE OPERACIÓN CON CONTROL DE TEMPERATURA.
2. % DE VAPORIZACIÓN.
3. TEMPERATURA EN °C Y PRESIÓN EN Kg/cm² man.
4. LAS CARGAS TÉRMICAS INDICADAS SON PARA LAS DOS UNIDADES.
5. DISEÑO ORIGINAL POR PARTE DE IMP.

LISTA DE CAMBIOS REV. 4

1. SE AGREGO LA NOTA 5.
2. EL PRESENTE DIAGRAMA FUE ACTUALIZADO MEDIANTE REVISIÓN EN CAMPO Y NO ORIGINA LA ADQUISICIÓN DE MATERIALES O EQUIPOS. LOS CAMBIOS AQUÍ PRESENTADOS ILUSTRAN LO ENCONTRADO EN CAMPO.

NUMERO	DEBIDO A REVISION
PROFESOR	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E, Lab. 212
TITULO DEL DIBUJO	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
	Dibujo No. 3.1A



EA-2002
CALENTADOR DE FONDOS DE LA TORRE DESUBILIZADORA (S) 137,000,000 BTU/HR

EA-2007A
ENFRIGADOR DE FONDOS DE LA TORRE DESUBILIZADORA (S) 54,000,000 BTU/HR

EA-2007B
ENFRIGADOR DE FONDOS DE LA TORRE DESUBILIZADORA (S) 54,000,000 BTU/HR

EA-2007C
ENFRIGADOR DE FONDOS DE LA TORRE DESUBILIZADORA (S) 54,000,000 BTU/HR

EA-2007D
ENFRIGADOR DE FONDOS DE LA TORRE DESUBILIZADORA (S) 54,000,000 BTU/HR

BA-2002

- NOTAS:**
1. PARA NOTAS GENERALES, DIBUJOS DE REFERENCIAS, CODIGO DE TUBERIAS E INSTRUMENTACION VER DIAGRAMA No. 1066-00020.
 2. VALVULAS DE RETROLAVADO
 3. LOCALIZADOR UNO DE CADA LADO EN LOS CROIS OVER.
 4. VALVULAS ARREGLADAS EN MANERAL
 5. DRENES Y VENTEOS QUE NO ESTEN DIMENSIONADOS SERAN DE 1/2"
 6. LAS LINEAS DE CONDENSADO DE TRAMPAS SE CONECTARAN EN UN CABEZAL EN DIAG. 1066-00030
 7. TODAS LAS BRIDAS DE LA DA-2001 SERAN 300# R.F.
 8. LAS CONTRABRIDAS DE LAS LINEAS DE PROCESO EN EL CONDENSADOR EA-2006A/B SERAN DE 150# R.F. ACABADO 125 RHS.
 9. REGISTRADOR DE DOS PLUMAS.

- LISTA DE CAMBIOS, REV. No. 4:**
- 4.1 SE ELUMINO LA SEÑAL DE BOTON DE PANICO A PILOTOS.
 - 4.2 SE CAMBIO EL NUMERO DE SERPENTINES DE BA-2002.
 - 4.3 SE AGREGO CONEXION PARA PRUEBA DE CORROSION.
 - 4.4 SE AGREGO LA LINEA Z-GC-2002-AAA.
 - 4.5 SE EFECTUARON CAMBIOS DE ESPECIFICACION.
 - 4.6 LIC-2013 CAMBIO DE DIAMETRO.
 - 4.7 PRC-2024 CAMBIO A PIC-2024.
 - 4.8 SE DIMENSIONARON VALVULAS DE SEGURIDAD.
 - 4.9 CAMBIO NOTA 7.

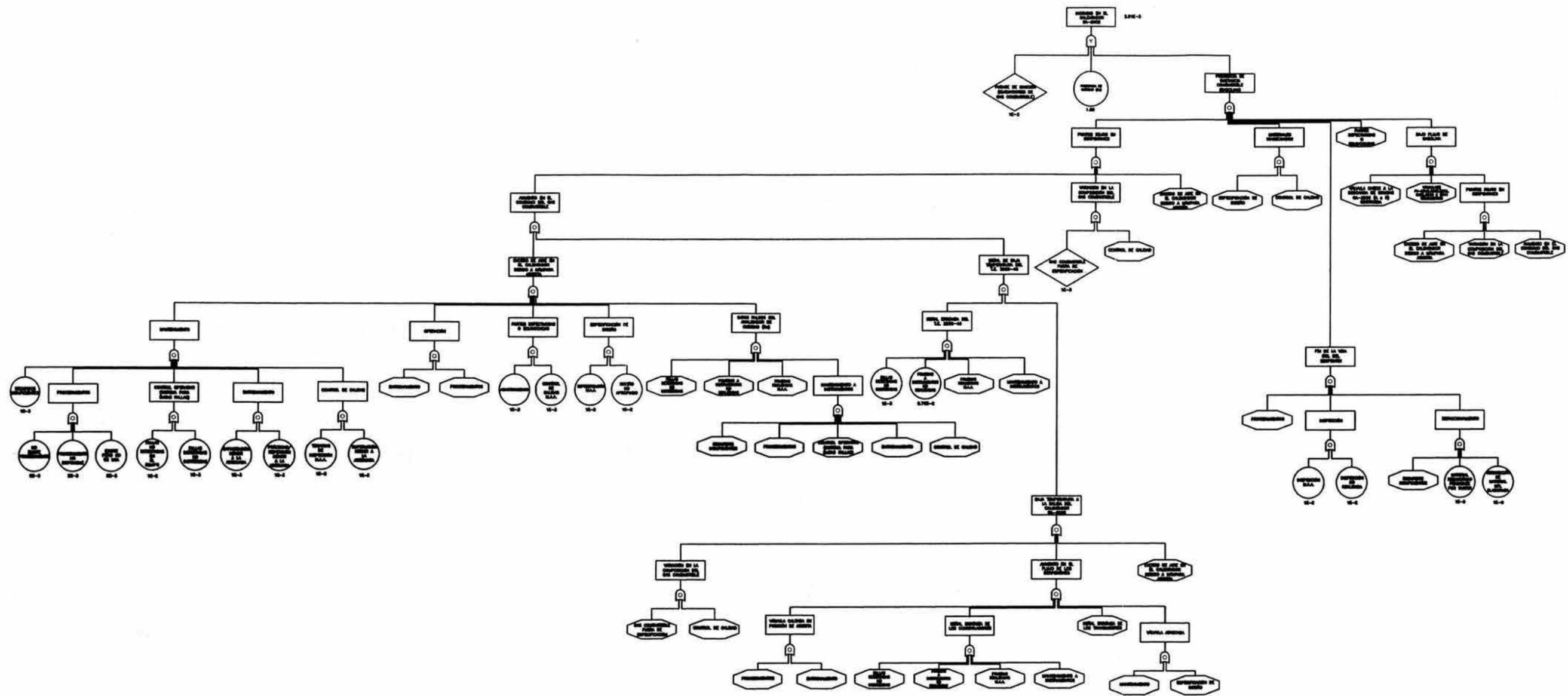
- LISTA DE CAMBIOS, REV. No. 5:**
- 5.1 SE REALIZARON CAMBIOS DE ESPECIFICACION.
 - 5.2 SE DIMENSIONARON LAS VALVULAS SV-2019, PCV-2023.
 - 5.3 SE COLOCARON EXPANSIONES Y REDUCCIONES.
 - 5.4 SE DIMENSIONARON BOQUILLAS.
 - 5.5 SE CANCELO HS-2020.
 - 5.6 CAMBIO EL ARREGLO DE PSV-2016.
 - 5.7 CAMBIO EL DIAMETRO DE SUCCION DE GA-2006T.

- LISTA DE CAMBIOS, REV. No. 6:**
- 6.1 SE COLOCARON EXPANSIONES A LA SALIDA DE LAS VALVULAS DE CONTROL PARA EL SERVICIO DE HIDROGENO.
 - 6.2 SE COMPLETO ARREGLO DE DRENE.
 - 6.3 SE AGREGO VALVULA EN 4"-P-2019-A2A.

- LISTA DE CAMBIOS, REV. No. 7:**
- 7.1 SE EFECTUO CAMBIO DE DIAMETRO EN LAS LINEAS P-2105 Y P-2101 DE 1" A 1 1/2" Y EN LA LINEA P-2102-1 DE 6" A 10", POR DISEÑO DE TUBERIA.

- LISTA DE CAMBIOS, REV. No. 8:**
- 8.1 SE AGREGO EL ANALIZADOR AR-2005 EN LA PARTE SUPERIOR DEL CALENTADOR.

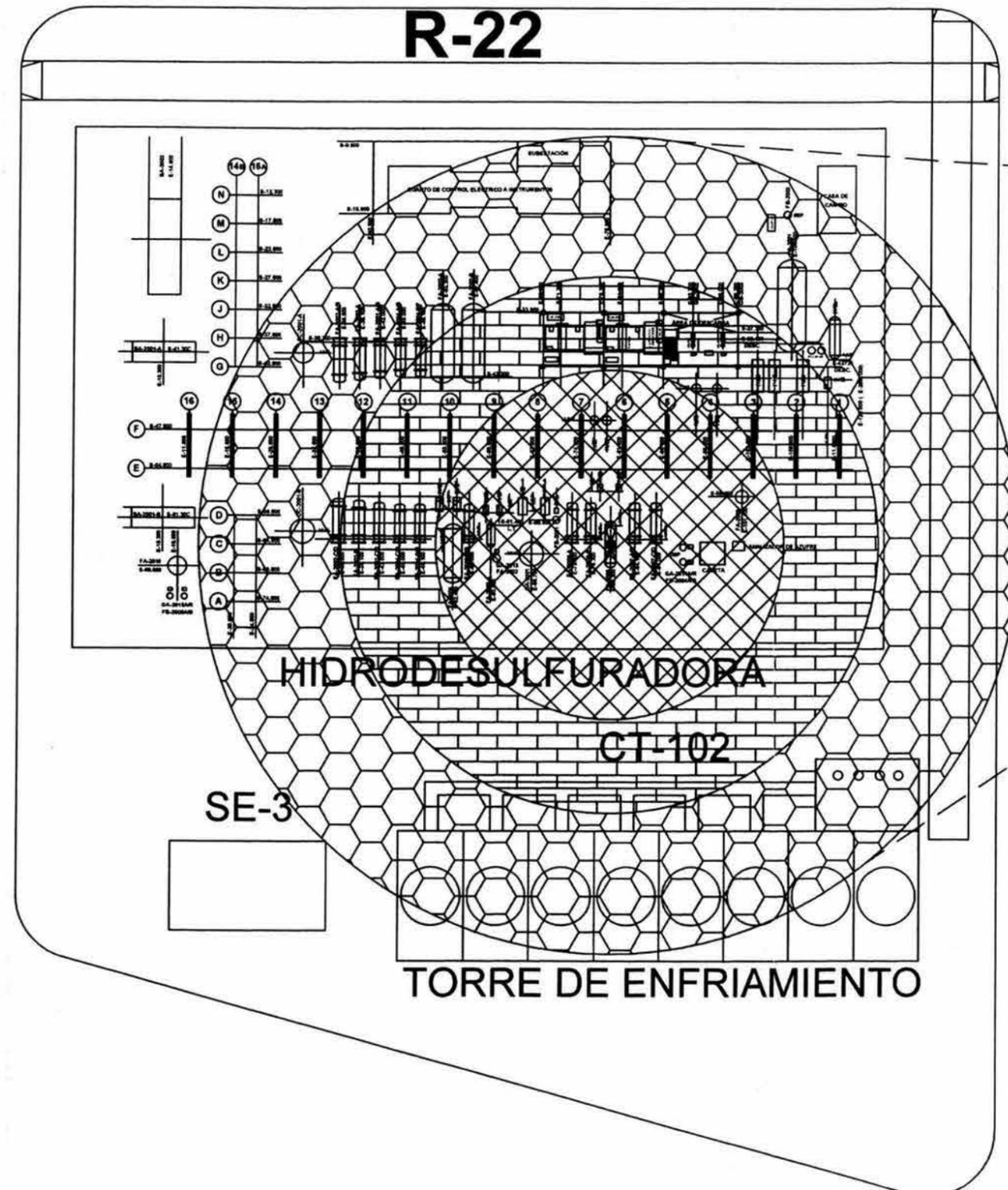
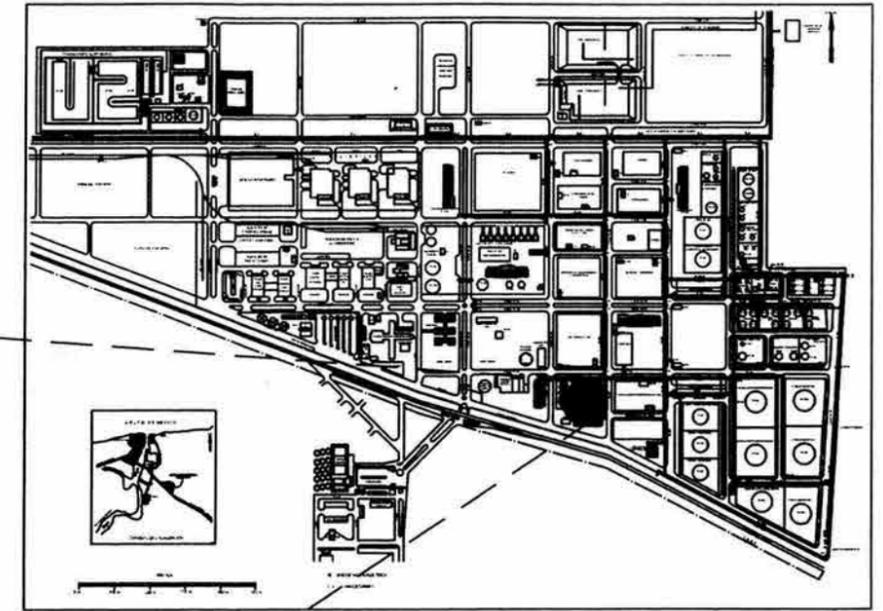
HECHO	DIBUJO DE REFERENCIA
PROVEEDOR	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E, Lab. 212
TITULO DEL DIBUJO	SECCION DE SEPARACION DE GAS AMARGO Y FRACCIONAMIENTO
NUMERO DE PROYECTO	3.3A



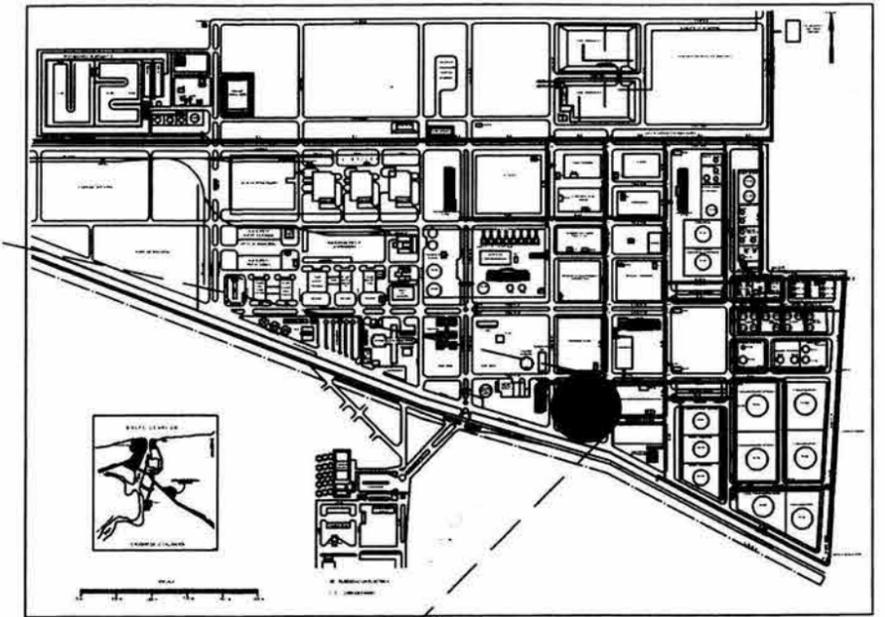
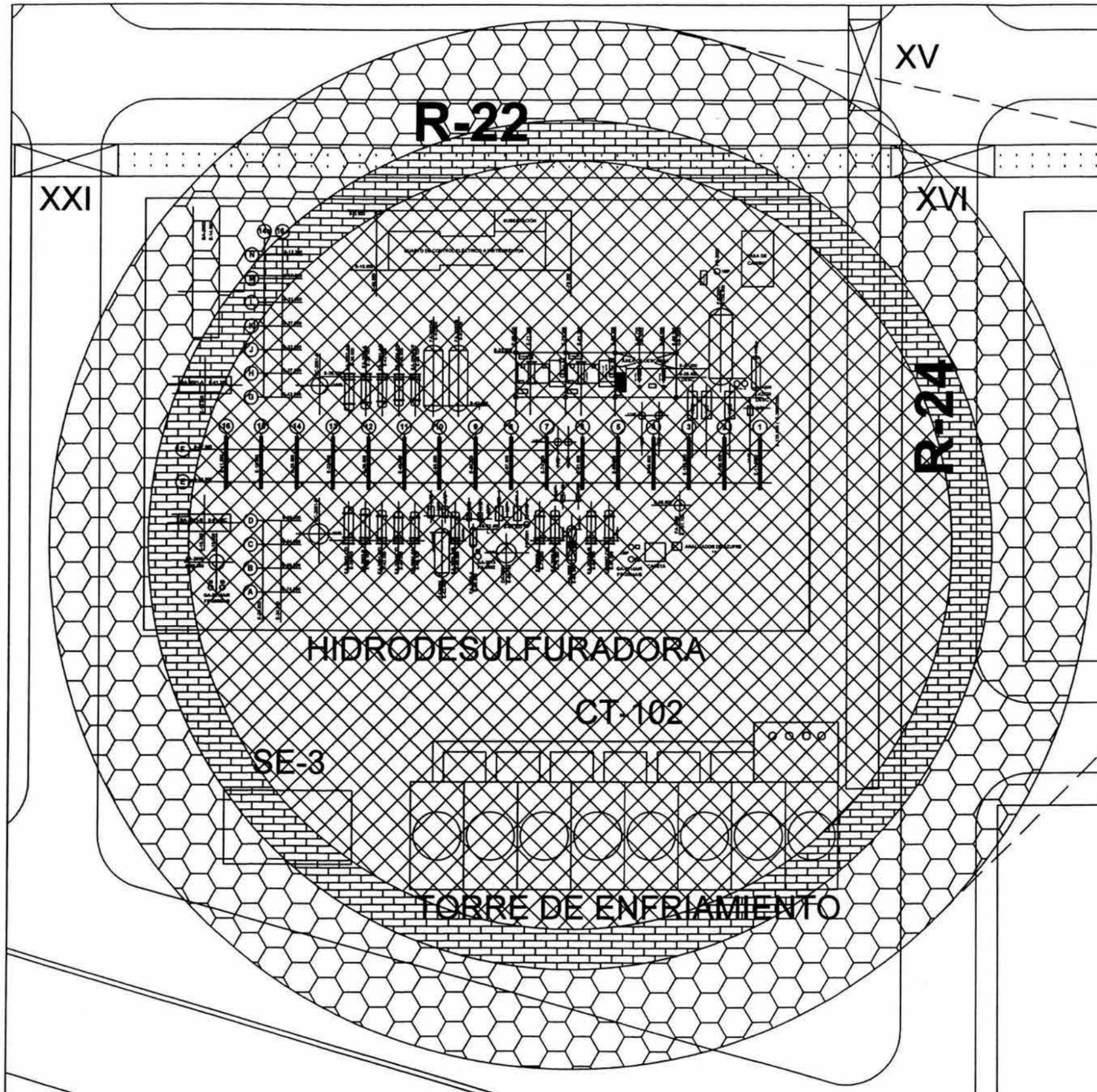
M.A. MENOR AL ADECUADO
M.P.P. MANTENIMIENTO PREVENTIVO/PREDICTIVO

PROVEEDOR	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E, Lab. 212
TÍTULO DEL DISEÑO	ÁRBOL DE FALLAS PARA INCENDIO EN EL CALENTADOR A FUEGO DIRECTO (BA-2002) DE LA PLANTA HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS
NÚMERO DE PROYECTO	NÚMERO DE DISEÑO 3.4
ÁREA Y SECTOR	FRONTE DE RESPALDO REVISED NOMBRE

PLANO LLAVE



RUPTURA CATASTRÓFICA EN EL ACUMULADOR FA-2006 PLANTA "HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS"				
EVENTO	ZONA	RADIO DE AFECTACIÓN	ONDAS DE RADIACIÓN	
INCENDIO TARDIO DE UN CHARCO	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	62.9077 m	1.4 kW/m2	
	ZONA DE RIESGO MEDIO	41.2534 m	5.0 kW/m2	
	ZONA DE ALTO RIESGO	26.813 m	12.5 kW/m2	
CONDICIONES DEL PROCESO		CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS		
PRESIÓN: 12.75 bar TEMPERATURA PROMEDIO: 54°C CANTIDAD: 1.23E4 Kg FASE LÍQUIDA		VELOCIDAD DEL VIENTO: 2.77 m/s TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL: 25.5°C HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO: 95% PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 1ATM DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NORTE A SUR DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS REINANTES: NOROESTE A SURESTE		



PLANO LLAVE

RUPTURA CATASTRÓFICA EN EL ACUMULADOR FA-2006 PLANTA "HIDRODESULFURADORA DE NAFTAS"				
EVENTO	ZONA	RADIO DE AFECTACIÓN	ONDAS DE SOBREPRESIÓN	
EXPLOSIÓN DE UNA NUBE NO CONFINADA	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	97.3851 m	0.5 PSI	▨
	ZONA DE RIESGO MEDIO	78.8479 m	1.0 PSI	■
	ZONA DE ALTO RIESGO	71.3384 m	2.0 PSI	▩
CONDICIONES DEL PROCESO		CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS		
PRESIÓN: 12.75 bar TEMPERATURA PROMEDIO: 54°C CANTIDAD: 1.23E4 Kg FASE LÍQUIDA		VELOCIDAD DEL VIENTO: 2.77 m/s TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL: 25.5°C HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO: 95% PRESIÓN ATMOSFÉRICA: 1ATM DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NORTE A SUR DIRECCIÓN DE LOS VIENTOS REMANENTES: NOROESTE A SURESTE		