

14



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

“ANÁLISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA DE
HIDRODESINTEGRACIÓN CATALÍTICA”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A:
VICTOR SHAMANN BAZÁN PERKINS



MÉXICO, D.F



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

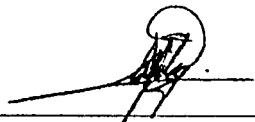
JURADO

Presidente	Prof. José Antonio Ortiz Ramírez
Vocal	Prof. Modesto Javier Cruz Gómez
Secretario	Prof. Néstor Noé López Castillo
1er. Suplente	Prof. Baldomero Pérez Gabriel
2° . Suplente	Prof. Euberto Hugo Flores Puebla

Sitio donde se desarrollo el tema:

Laboratorio E-212, Edificio E
Facultad de Química. UNAM

Asesor del tema



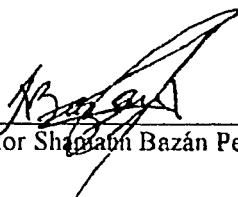
Dr. M. Javier Cruz Gómez

Supervisor técnico



Ing. Sonia Monroy Caudillo

Sustentante



Víctor Shajahn Bazán Perkins

Dedicada a mis Padres:
Sergio Bazán Barron y
Marilyn Anneta Perkins Miller
Por su amor, apoyo y confianza.

Con cariño a mis hermanos:
Blanca M. Bazán Perkins
Julio A. Bazán Perkins
Sergio D. Bazán Perkins

A todos mis profesores que
ya son tantos y a quienes
admiro y respeto.

A todos, pero absolutamente a todos mis amigos
y compañeros que nunca me han dejado solo, a
quienes tanto debo y estimo.

No debemos esperar de nadie, sino de nosotros mismos:
Pensar, escribir, luchar, con audacia, despojados de todo
fetichismo, de todo dogmatismo, no importa el punto al que
lleguemos.

José Revueltas.

Índice General

PÁGINA

Índice General.....	I
Índice de Tablas.....	III
Índice de Diagramas y Figuras	V
Lista de Abreviaturas.....	VI
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Justificación.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Etapas del Proyecto.....	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Conceptos.....	6
2.2 Antecedentes.....	9
2.3 Análisis de Riesgos.....	10
2.4 Técnicas de Identificación y Evaluación de Riesgos.....	11
2.5 Métodos Comparativos.....	12
2.5.1 <i>Evaluaciones Técnicas de Seguridad</i>	12
2.5.2 <i>Procedimientos de Trabajo y Rutinas Operacionales</i>	12
2.5.3 <i>Auditorías de Seguridad</i>	12
2.5.4 <i>Lista de Verificación (Checklist)</i>	13
2.5.5 <i>Análisis Histórico de Accidentes</i>	14
2.6 Índice de Riesgos.....	15
2.6.1 <i>Descripción de Algunos Índices de Riesgos</i>	15
2.6.2 <i>Índices Mond y Dow de Fuego y Explosión</i>	16
2.7 Métodos Generalizados.....	17
2.7.1 <i>Análisis de Árbol de Modo de Fallas y Efectos (MFEA)</i>	17
2.7.2 <i>Análisis de Árbol de Fallas (FTA)</i>	18
2.7.3 <i>Análisis de Árbol de Eventos (ETA)</i>	22
2.7.4 <i>Análisis ¿Qué pasa si...? (What if?)</i>	23
2.7.5 <i>Análisis HazOp</i>	24
2.8 Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR).....	29
2.8.1 <i>Análisis de Consecuencias (AC)</i>	30
2.8.2 <i>Incendios y Explosiones</i>	30
2.8.3 <i>Inflamabilidad</i>	31
2.8.4 <i>Dardos de Fuego</i>	31
2.8.5 <i>Explosiones No Confinadas</i>	32

<i>CAPÍTULO III. TRABAJO DE CAMPO</i>	33
3.1 El Proceso de Hidrodesintegración Catalítica.....	34
3.2 Tecnologías de Hidroprocesamiento.....	36
3.3 Planta Hidrodesintegradora Catalítica.....	38
3.3.1 Configuración del Proceso.....	38
3.3.2 Reactores de Hidrodesintegración Catalítica.....	39
3.3.3 Química Básica de la Unidad.....	42
3.3.4 Bases de Diseño.....	44
3.3.5 Descripción del Proceso.....	45
3.4 Análisis HazOp.....	56
3.5 Análisis de Consecuencias.....	93
3.5.1 Evaluación de Consecuencias por Fuga en el Tanque 10C-5.....	93
3.6 Evaluación de Riesgos con la Técnica de Árbol de Fallas para el Compresor 10K-2.....	99
3.6.1 Aplicación del Método de Conjuntos Mínimos.....	104
<i>CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	108
4.1 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis HazOp.....	109
4.2 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis de Consecuencias.....	117
4.3 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis de Árbol de Fallas.....	118
Apéndice A.....	119
Apéndice B.....	120
Bibliografía.....	121

Índice de Tablas

<i>Tabla 2.1: Accidentes a lo largo del mundo que han ocasionado graves consecuencias</i>	9
<i>Tabla 2.2: Métodos de Evaluación de Peligros e Identificación de Riesgos</i>	11
<i>Tabla 2.3: Algunos Procedimientos de Trabajo y Rutinas Operacionales</i>	12
<i>Tabla 2.4: Ventajas y Desventajas de las Listas de Verificación</i>	13
<i>Tabla 2.5: Ventajas y Desventajas del Análisis Histórico de Accidentes</i>	14
<i>Tabla 2.6: Cantidad de Accidentes Fatales en Varias Actividades e Industrias</i>	15
<i>Tabla 2.7: Ventajas y Desventajas del Análisis de Modo de Fallas y sus Efectos</i>	17
<i>Tabla 2.8: Reglas para el Cálculo del Árbol de Fallas</i>	19
<i>Tabla 2.9: Simbología para el Árbol de Fallas</i>	20
<i>Tabla 2.10: Reglas del Álgebra Booleana de uso Frecuente en el Análisis de Árbol de Fallas</i>	21
<i>Tabla 2.11: Terminología para el Análisis HazOp</i>	25
<i>Tabla 2.12: Palabras Guía y su Significado</i>	26
<i>Tabla 2.13: Niveles de Frecuencia</i>	27
<i>Tabla 2.14: Niveles de Gravedad</i>	27
<i>Tabla 2.15: Matriz de Riesgo</i>	27
<i>Tabla 2.16: Matriz de Riesgo con Clasificación</i>	28
<i>Tabla 3.1: Clasificación del IFP de los Aceites Crudos</i>	35
<i>Tabla 3.2: Aceites Crudos de Diferentes Regiones</i>	35
<i>Tabla 3.3: Fracciones Obtenidas en la Refinación por Orden de Volatilidad y Longitud de Cadenas</i>	35
<i>Tabla 3.4: Localización de Algunas de las Tecnologías de Hidroprocesamiento en Lecho Fijo</i>	36
<i>Tabla 3.5: Licenciadores de Tecnologías en Hidroprocesamiento</i>	37
<i>Tabla 3.6: Localización y Capacidades de Algunas Tecnologías de Lecho Ebulante</i>	37
<i>Tabla 3.7: Propiedades de la Nube</i>	96
<i>Tabla 3.8: Propiedades de la Mezcla de Gases del 10C-5</i>	96
<i>Tabla 3.9: Datos del Tanque Horizontal Cilíndrico</i>	96
<i>Tabla 3.10: Composición del Tanque Separador de Gas de Recirculación 10C-5</i>	97
<i>Tabla 3.11: Características Estimadas del Contenedor</i>	97
<i>Tabla 3.12: Primera Serie de Cálculos Obtenidos</i>	98
<i>Tabla 3.13: Resultados Arrojadados para la Descarga en PHAST</i>	98
<i>Tabla 3.14: Velocidad-Duración de la Descarga</i>	98
<i>Tabla 3.15: Inflamación de una Descarga Súbita en Forma de Chorro (Flama-Jet)</i>	98
<i>Tabla 4.1: Recomendación Emanadas del Análisis HazOp</i>	110
<i>Tabla 4.2: Recomendaciones del Análisis de Consecuencias</i>	117
<i>Tabla 4.3: Recomendaciones del Árbol de Fallas</i>	118
<i>Tabla A-1 Criterios para Evaluar la Probabilidad de Ocurrencia en Árbol de Fallas</i>	119
<i>Tabla A-2 Criterios para Evaluar la Probabilidad en Árbol de Fallas</i>	119

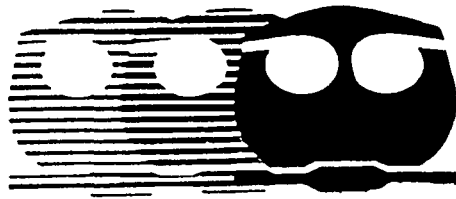
Lista de Diagramas y Figuras

<i>Diagrama de Flujo y Proceso (DFP), Sección de Reacción</i>	46
<i>Diagrama de Flujo y Proceso (DFP), Sección de Fraccionamiento</i>	53
<i>Diagrama de Tubería e Instrumentación No. 10R-A-15A</i>	49
<i>Diagrama de Tubería e Instrumentación No. 10R-A-15B</i>	50
<i>Diagrama de Árbol de Fallos del Compresor 10K-2 (FQ-340-AF1)</i>	100
<i>Diagrama de Árbol de Fallos del Compresor 10K-2 (FQ-340-AF2-2A)</i>	101
<i>Diagrama de Árbol de Fallos del Compresor 10K-2 (FQ-340-AF2-2B)</i>	102
<i>Diagrama de Árbol de Fallos del Compresor 10K-2 con Conjuntos Mínimos (FQ-340-AFCMA)</i>	106
<i>Diagrama de Árbol de Fallos del Compresor 10K-2 con Conjuntos Mínimos (FQ-340-AFCMA)</i>	107
<i>Figura 1. Pasos a Seguir para la Construcción de un Árbol de Fallas</i>	19
<i>Figura 2. Triangulo de Fuego</i>	30
<i>Figura 3. Evolución de una Onda de Presión</i>	32
<i>Figura 4. Tecnologías de Lecho Fijo vs Lecho Ebulante</i>	37
<i>Figura 5. Esquema de los Internos de un Reactor de la Unidad de Hidrodesintegración Catalítica</i>	41

Lista de abreviaturas

API	<i>American Petroleum Institute (Instituto Americano del Petróleo).</i>
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (Explosión de líquido hirviendo y vapor expandiéndose).</i>
bls.	<i>Barriles.</i>
DFP	<i>Diagrama de Flujo de Proceso.</i>
DTI	<i>Diagrama de Tubería e Instrumentación.</i>
F	<i>Frecuencia.</i>
G	<i>Gravedad.</i>
HazOp	<i>Hazard and Operability Analysis (Análisis de Riesgos y Operatividad).</i>
H-Oil	<i>Proceso de Hidrocrackeo para Reducir Residuos de Petróleo a Fracciones más Ligeras.</i>
HDA	<i>Proceso de Hidrodesaromatización.</i>
HDC	<i>Proceso de Hidrodesintegración.</i>
HDM	<i>Proceso de Hidrodemetalización.</i>
HDN	<i>Proceso de Hidrodenitrificación.</i>
HDS	<i>Proceso de Hidrodesulfuración.</i>
HDR	<i>Planta Hidrotratadora de Residuos.</i>
LI	<i>Límite Inferior de Inflamabilidad.</i>
LSI	<i>Límite Superior de Inflamabilidad.</i>
LSE	<i>Límite Superior de Explosividad.</i>
NFPA	<i>National Fire Protection Association.</i>
PM	<i>Peso Molecular.</i>
R	<i>Riesgo.</i>

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN





1.1 Justificación

El hombre desde su origen en la era paleolítica ha adquirido el conocimiento en la búsqueda de la satisfacción de sus necesidades, en este proceso fue creando a través del tiempo las condiciones que darían cuerpo a las bases de la técnica, la ciencia y la civilización. La capacidad del hombre de organizarse socialmente y poder transmitir sus errores y experiencias aprendidas de forma empírica o científica le han permitido el poder avanzar en su búsqueda por satisfactores.

El hombre en sociedad va requiriendo de necesidades cada vez más específicas y más sofisticadas, se ve en la constante necesidad de producir bienes que cumplan sus necesidades particulares, exigiendo cada vez una mejor calidad de productos y de menor costo.

En la Industria Química el hombre crea nuevas técnicas de producción, buscando aprovechar de mejor manera las materias primas y los elementos tecnológicos de que dispone, esto lo lleva a enfrentarse con riesgos reales y potenciales diariamente, a los cuales se ve irremediamente expuesto. La experiencia en la Industria Química ha generado métodos sistemáticos para minimizar y controlar estos riesgos, identificándolos y diseñando las condiciones para reducirlos.

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

En este trabajo se presenta un Análisis de Riesgos realizado en una planta Hidrodesintegradora Catalítica de Aceites Pesados. Por medio del Análisis de Riesgos se pudieron identificar y evaluar los riesgos involucrados en el proceso, las técnicas empleadas fueron HazOp, Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias.



1.2 Objetivos

1. Identificar y evaluar los riesgos mediante la técnica HazOp, en el Circuito de Alta Presión de una planta Hidrodesintegradora Catalítica de Aceites Pesados.
2. Aplicar las técnicas de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias seleccionando para cada técnica un escenario de accidente hipotético, determinando así los daños que se ocasionarían y proponiendo medidas que permitan evitarlos, disminuyendo su probabilidad de ocurrencia.
3. Obtener una lista de recomendaciones del Análisis de Riesgos que permita mejorar la operación y seguridad de la planta.
4. Elaborar un plan de trabajo para la planta Hidrodesintegradora Catalítica en el que se establezcan las acciones a realizar y su jerarquía.



1.3 Etapas del proyecto

1. Recopilación de Información y Actualización de Diagramas.

En esta etapa se conoció la planta, se obtuvieron el Manual de Operación, los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) y los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's). Los diagramas que lo requerían se comenzaron a actualizar, levantando en campo los cambios en los equipos, líneas y configuraciones para posteriormente digitalizarlos en AutoCAD 14.

2. Realización del estudio HazOp

En esta etapa se formó un grupo técnico multidisciplinario compuesto por personal de la planta y de la UNAM, con el cual se elaboró un calendario para las reuniones de aplicación de la técnica HazOp. El grupo apoyado de los planos dividió el proceso en circuitos y su subdivisión en nodos para aplicar la técnica. Esta etapa culminó con la aplicación de la técnica a todos los circuitos seleccionados y la elección de los escenarios potenciales de riesgo para realizar el Análisis de Árbol de Fallas y el Análisis de Consecuencias.

3. Análisis de Árbol de Fallas

Elaboración de un árbol de fallas para el escenario hipotético: "Falla en el compresor de recirculación de hidrógeno 10K-2".

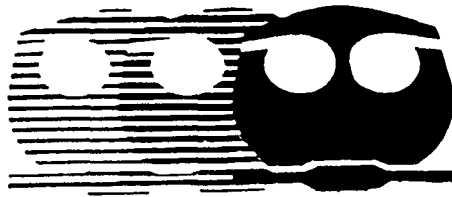
4. Análisis de Consecuencias

Cálculo y análisis de las consecuencias para el escenario hipotético "Fuga en brida de conexión del tanque de separación 10C-5".

5. Análisis de Resultados y Conclusiones

En esta etapa se elabora una lista de las recomendaciones generadas por las técnicas HazOp, Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias, que se ordenan en una jerarquía de prioridades y se elabora un plan de trabajo para dar paso a las acciones que se van a implementar para las recomendaciones en los plazos que se definan.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO





2.1 Conceptos ^(1 y 8)

Accidente: Cualquier incidente que implique una desviación de las condiciones en las que un sistema se ha diseñado para su operación.

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

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

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion): Esta explosión causada por la expansión del vapor de un líquido en ebullición, ocurre por el repentino escape a la atmósfera de una masa considerable de líquido presurizado. Una causa primaria es la incidencia de una flama externa a la coraza de un tanque, cediendo la coraza a una repentina ruptura.

Causas. Son los motivos por los que se pueden presentar las desviaciones a la intención de diseño.

Consecuencias: Resultado de un evento no deseado, medido por sus efectos en los empleados, público general, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria).

Desviación: Son desvíos de la intención de diseño (flujo, presión, temperatura, reacción, nivel, etc.) que se descubren mediante la aplicación de las palabras guía.

Explosión Confinada: Explosión de una mezcla combustible dentro de un sistema cerrado (como un tanque o edificio).

Frecuencia: Es el número de veces que un incidente o suceso se ha 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.

HazOp: Análisis de Riesgos y Operabilidad (Hazard and Operability Análisis, HazOp), traducido estrictamente como Análisis de Peligro y Operatividad, puesto que la palabra Hazard significa peligro, sin embargo se usará la palabra riesgo. El HazOp es la herramienta sistemática usada por el 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 los riesgos posibles mediante la discusión propositiva y la generación de ideas.

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).

Inflamabilidad: Es la mayor o menor facilidad con la que una sustancia puede arder en el aire o en algún otro gas que sirva como comburente.

Intención de diseño (propósito): Describe la forma en que se espera funcione el elemento analizado, el propósito puede tomar varias formas tales como recipiente, línea, bomba, etc.

Mitigación: Conjunto de acciones para disminuir las consecuencias de ocurrencia 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, 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 de ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y lo suficientemente grande para que sea significativo.



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

Peligro: Condición física o química que puede causar daño a las personas, al medio ambiente o a la propiedad.

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 proponer para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente.

Riesgo: Es la posibilidad de sufrir pérdidas ó bien como medida de la pérdida económica ó 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.

Temperatura de autoignición: Es la menor temperatura a la cual una mezcla combustible se enciende espontáneamente.



2.2 Antecedentes

La forma tradicional de identificación de riesgos durante los primeros desarrollos tecnológicos hasta nuestros días, era construir la planta y ver que pasaba. En la Industria Química cada año suceden cientos de accidentes menores, a menudo sin trascendencia general, sin embargo, han ocurrido accidentes mayores que han traspasado los límites físicos de las industrias involucradas produciendo pérdidas humanas y materiales importantes. Esto, a su vez, ha propiciado una toma de conciencia sobre la seguridad industrial que nos obliga a conocer los errores del pasado, estudiarlos y dedicar esfuerzos para prevenirlos.

Tabla 2.1: Accidentes a lo Largo del Mundo que han Ocasionado Graves Consecuencias^(*).

<u>LUGAR/FECHA</u>	<u>CAUSAS</u>	<u>CONSECUENCIAS</u>
Bhopal, India 2/Dic/1984	Fuga de un gas tóxico (Isocianato de metilo) ocurrida en una fábrica de pesticidas de <i>Union Carbide</i> , la emisión abarcó un área de 40 km ² .	2500 muertes por envenenamiento, y aproximadamente el mismo número de personas en condiciones críticas, 150,000 personas requirieron tratamiento médico causado por efectos a largo plazo.
Cubatao, Brasil 25/Feb/1974	Un oleoducto dañado. La gasolina que se escapa se evapora y se inflama, originando una bola de fuego.	Al menos 500 muertos.
México, D.F. 19/Nov/1984	Hacen explosión varios contenedores con L.P.G en San Juan Ixhuatepec.	452 muertos y más de 4,200 personas con lesiones diversas, el número de desaparecidos esta alrededor de 1000 personas.
Sn Carlos Rápita (España) 11/Jul/1978	Un camión de 39 toneladas, sobrecargado con unos 45m ³ de propileno, dio origen a una explosión BLEVE al chocar.	215 muertes.
Guadalajara, México 23/Abril/1992	Se produce una serie de explosiones en cadena a lo largo de una red urbana de alcantarillado de unos 13 kilómetros de longitud, debido a vertidos de combustible en los mismos.	Los datos oficiales informan de 200 muertos y 1500 heridos, 1200 viviendas y 450 inmuebles comerciales destruidos.
Chemobil, Rusia Abril/1986	Descontrol operacional en la reacción en la planta nuclear.	30 muertos durante el evento, más de 500 heridos, 5.5 mil millones de dólares perdidos para 1990.
Seveso, Italia 9/Jul/1976	En una planta de Icmesa (<i>Hoffman La Roche</i>), una reacción fuera de control provoca el venteo de un reactor, liberándose unas 2 toneladas de productos químicos a la atmósfera. Entre éstos había de 0.5 a 2Kg de dioxina, cuya dosis letal para una persona de sensibilidad promedio es inferior a 0.1mg.	Fue preciso evacuar a más de 1000 personas. No hubo muertes como consecuencia directa del accidente, pero la dioxina afectó a muchas personas (acné por cloro), produjo abortos espontáneos y contaminación del suelo.



La Industria Química encierra un alto nivel de riesgo, por sus materiales, volúmenes y condiciones de proceso ya que una fuga de sus materiales puede causar graves daños a la salud humana y al ambiente puesto que los materiales que ahí se utilizan y producen son peligrosos por ser tóxicos, corrosivos, inflamables o explosivos pudiendo producir daños graves. Adicionalmente si consideramos los volúmenes que se consumen y se producen de estos materiales, en sus etapas de almacenamiento, producción y transporte, vemos que se incrementa la gravedad ante la ocurrencia de un accidente, y por último, las condiciones de operación en sus procesos pueden llegar a ser severas siendo un factor que influye en la generación de altos riesgos potenciales. La Industria Química siempre debe de tener una política de prevención, tanto mayor cuanto más grande sea el riesgo potencial.

2.3 Análisis de Riesgos

Mediante un análisis de riesgos podemos hacer un Estudio de la Seguridad de un Proceso identificando las posibles causas que originen un accidente y los mecanismos para su desarrollo, evaluando sus consecuencias y su probabilidad de ocurrencia. Los análisis consisten en la aplicación de una serie de técnicas sistemáticas para identificar riesgos potenciales en el proceso y para asegurar que se especifiquen medidas para su eliminación y control, contribuyendo así a la prevención efectiva de accidentes y eventos de pérdida, y por lo tanto a obtener una industria con mayor seguridad para sus miembros, propiedades y medio ambiente.

Las técnicas han sido desarrolladas por diversas compañías e instituciones, tienen enfoques diferentes y por ende aplicaciones distintas, algunas tienen carácter cualitativo en la identificación de riesgos y otros métodos tienen carácter cuantitativo. Haciendo uso del método apropiado se pueden analizar diversos aspectos en materia de riesgos, se podrá evaluar su magnitud, probabilidad y se guiará al grupo de análisis a encontrar sistemáticamente las medidas preventivas o de contingencia que eliminen, mitiguen o controlen el riesgo. Todas las técnicas, aplicadas en una planta van a influir con alta prioridad en las decisiones más importantes sobre su diseño, construcción y operación.



2.4 Técnicas de Identificación y Evaluación de Riesgos

Los métodos de identificación de peligros y evaluación de riesgos, pueden ser divididos en tres categorías: Métodos Comparativos, Índices de Riesgos y Métodos Generalizados. La aplicación de estas técnicas en una planta, influye con alta prioridad en las decisiones más importantes sobre su diseño, construcción, operación, en la selección de la tecnología (materias primas, intermedios, equipos, condiciones de proceso, etc.); localización de las áreas de proceso (tomando en cuenta comunidades cercanas, disposición de desechos y efluentes, riesgos de la zona, etc.), distribución de la planta (áreas de tanques de almacenamiento, cuartos de control, separación de áreas peligrosas, etc.), instalación de sistemas de prevención y combate de emergencia (equipo contra incendio, sistemas de alarma, protección contra explosión, protección contra fuga de tóxicos, servicios médicos, etc.), instrumentación (protecciones de seguridad en equipos, confiabilidad de instrumentación, etc.), procedimientos de operación, mantenimiento y emergencia.

En la tabla 2.2 se presentan los métodos desglosados.

Tabla 2.2: Métodos de Evaluación de Peligros e Identificación de Riesgos⁽⁸⁾.

<p>I MÉTODOS COMPARATIVOS CÓDIGOS, ESTÁNDARES Y NORMAS LISTAS DE COMPROBACIÓN (CHECKLISTS) ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES</p>
<p>II ÍNDICES DE RIESGO ÍNDICE DOW ÍNDICE MOND</p>
<p>III MÉTODOS GENERALIZADOS ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERATIVIDAD (HAZOP) ANÁLISIS DE MODOS DE FALLAS Y SUS EFECTOS (FMEA) ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA) ANÁLISIS DE ÁRBOL DE SUCESOS (ETA) ANÁLISIS "WHAT-IF" ANÁLISIS DE ERROR HUMANO.</p>



2.5 Métodos Comparativos

Los Métodos Comparativos se basan en la experiencia acumulada en un campo particular. Son métodos que ayudan principalmente para identificar peligros, que es lo más importante de un análisis de riesgos. Puesto que estos métodos están basados en la experiencia y pueden desembocar como normas.

2.5.1 Evaluaciones Técnicas de Seguridad

Las Evaluaciones Técnicas de Seguridad son una herramienta que permite verificar si la instalación y sus procedimientos de operación y mantenimiento cumplen con los estándares y prácticas de seguridad reconocidos. La técnica consiste en que un pequeño equipo de expertos en seguridad haga la revisión completa de la planta, incluyendo inspecciones de las instalaciones y entrevistas con el personal clave involucrado en la operación y mantenimiento de la misma, con el fin de identificar los peligros más significativos.

2.5.2 Procedimientos de Trabajo y Rutinas Operacionales

La necesidad de aplicar controles más efectivos en las operaciones, buscando la seguridad del personal, la integridad de los equipos y la continuidad de los procesos, ha resultado en la adopción de la sana práctica de preparar Procedimientos de Trabajo y Rutinas Operacionales, especialmente para aquellas operaciones consideradas críticas por su alto nivel de riesgo o poco rutinarias. En la tabla 2.3 se muestran algunos ejemplos.

Tabla 2.3: Algunos Procedimientos de Trabajo y Rutinas Operacionales⁽¹⁹⁾.

<i>Procedimientos de Trabajo</i>	<i>Rutinas Operacionales</i>
Sistema de permisos de trabajo.	Recorridos de inspección visual, auditiva, olfativa.
Seguridad en operaciones de movimiento de cargas.	Uso de medidores portátiles de temperatura, vibración, toxicidad, etc.
Análisis de riesgos en el trabajo.	Reporte de fugas de productos, agua, vapor y condensados.

2.5.3 Auditorías de Seguridad

Una Auditoría de Seguridad es un método de identificación de peligros mediante una revisión sistemática de las prácticas de operación y mantenimiento, cuya intención es determinar la efectividad del programa de salud y seguridad de la instalación auditada. Hay diferentes tipos de auditorías que pueden ser conducidas en las instalaciones que procesan o manejan materiales peligrosos, entre las cuales se encuentran:



Auditorías de seguridad (instalaciones existentes).

Auditorías de pre-arranque (instalaciones nuevas).

Auditorías de seguros.

2.5.4 Lista de Verificación (*Checklist*)

La Lista de Verificación es el método de identificación de riesgos más sencillo, que se basa en la experiencia y conocimientos del (o los) analista(s), apoyados también en códigos y normas, la lista de verificación es un recordatorio útil que permite comparar el estado de un sistema con una referencia externa establecida para garantizar su funcionamiento, identificando directamente carencias de seguridad ó áreas que requieren de un estudio de riesgos más profundo. Esta lista puede ser aplicada para la evaluación de equipos, materiales o procedimientos. Frecuentemente las listas se crean organizando información de códigos, estándares o normas actuales y relevantes. Estas listas deben de ser revisadas y actualizadas regularmente. El método se emplea por ejemplo en la investigación y desarrollo, en la ingeniería básica, en la ingeniería detallada y en la construcción.

La lista consiste en un conjunto ordenado de preguntas que se hacen acerca de la organización, operación, mantenimiento y otras áreas importantes de una planta, puede ser tan extensa como sea necesario, el procedimiento consiste en examinar cada uno de los elementos de un sistema y anotar el resultado de verificación en la hoja. En la tabla 2.4 se muestran las ventajas y desventajas que se tienen en la aplicación de éste método.

Tabla 2.4: Ventajas y Desventajas de las Listas de Verificación.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es el método más sencillo y relativamente rápido para la identificación de riesgos.	Solo se consideran los puntos que se expresan en la lista de verificación.
Permite ver el grado de avance en el cumplimiento de los procedimientos y la identificación de riesgos potenciales.	No proporciona información de la intención de los sistemas y subsistemas.
Proporciona documentación sencilla sobre el estado en que se encuentra el elemento inspeccionado, pero no establece categorías entre los elementos.	Abarca un elemento a la vez, impidiendo la identificación de riesgos derivados de las interdependencias o interacciones entre los elementos procesos y procedimientos.
Sus resultados son de carácter cualitativo.	No estudia a fondo los escenarios complejos.
La lista de verificación toma ventaja de la experiencia acumulada.	El método es tan bueno como la experiencia de la persona que preparó la lista.



2.5.5 Análisis Histórico de Accidentes

Este análisis es una herramienta de identificación de riesgos que hace uso de los datos recogidos en el pasado sobre accidentes industriales tales como los accidentes registrados en la instalación, en instalaciones similares, con productos idénticos o de la misma naturaleza. Las fuentes para realizarlo son muy diversas y pueden provenir de datos recogidos en:

- Bibliografía especializada.
- Bancos de datos específicos.
- Registro de accidentes de la empresa/ asociaciones empresariales u autoridades competentes.
- Informes de comisiones de investigación o peritajes.
- Informes de prensa.
- Entrevistas con testigos.

Tabla 2.5: Ventajas y Desventajas del Análisis Histórico de Accidentes.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es útil en una aproximación cuantitativa	Se basa en accidentes que ya han tenido lugar.
Los peligros identificados durante el análisis son reales, da pie a un análisis de riesgos más profundo con base en su probabilidad de ocurrencia y magnitud de daño.	Se toman en cuenta solo las causas que provocaron el accidente y no considera todas las posibilidades que pudieron haberlo materializado.
Es especialmente útil para productos/procesos de uso frecuente o masivo.	La información disponible sobre accidentes es limitada, y a veces estos se registran incompletos o no se registran
La técnica se refiere a accidentes ya ocurridos, por lo que los peligros identificados con su uso son indudablemente reales.	El número de casos a analizar es finito y no cubre todas las posibilidades importantes.

El análisis histórico de accidentes es una técnica útil, que permite la identificación de riesgos concretos. Al menos, puede indicar la dirección en que debe actuar una empresa cuando en otras instalaciones análogas (o que procesan sustancias similares) ha ocurrido un tipo determinado de accidente, lo que debería ser suficiente para iniciar un análisis de riesgos que indique si es o no verosímil que el accidente tenga lugar en la empresa en cuestión. Es, además, un medio muy valioso para una verificación a posteriori de los modelos de que se dispone en la actualidad en cuanto a la predicción de las consecuencias de accidentes.



2.6 Índice de Riesgos

El Índice de Riesgos es un método relativamente simple para estimar el riesgo concentrado en un área de proceso, este método no identifica peligros pero si proporciona un valor numérico que ayuda a jerarquizar las áreas de proceso de acuerdo a su nivel de riesgo potencial; las áreas pueden ser posteriormente analizadas con más profundidad con técnicas generalizadas.

El Índice de Riesgos es un número generalmente sin significado físico real o bien puede tenerse en tabulaciones y puede ser usado con sentido absoluto o en forma relativa (Índice de Mortalidad, Índice de Equivalencia en Costo Social, Índice de Fuego y Explosividad). Existen algunos Índices de Riesgo que sí tienen unidades con significado físico real (Rango de Fatalidad, Índice Individual de Peligro, Razón Promedio de Muerte).

Las limitaciones del Índice de Riesgos básicamente son:

1. No proporciona un criterio absoluto para aceptar o desechar un riesgo.
2. EL índice carece de resoluciones, es decir solo proporciona un número con el cual es difícil interpretar algo de forma concreta.

2.6.1 Descripción de Algunos Índices de Riesgos

Cantidad de Accidentes Fatales Totales (The Fatal Accident Rate, FAR). Este Índice marca el número de muertos por cada 10^8 horas de exposición (por cada 1000 empleados trabajando). El FAR proporciona con un número el riesgo individual. La tabla 2.6 muestra algunos valores de FAR para distintas actividades.

Tabla 2.6: Cantidad de Accidentes Fatales en Varias Actividades e Industrias⁽¹⁾.

ACTIVIDAD	CANTIDAD DE ACCIDENTES FATALES (fatalidades/ 10^8 hr)
Calzado	0.15
Automotriz	1.3
Construcción de barcos	8
Personal de construcción	67
Viajar por tren	5
Viajar por automóvil	57
Actividad minera del carbón	12
Agricultura	10



Índice individual de peligro IHI, (The Individual Hazard Index). Este índice es el FAR aplicado para un peligro particular, con un tiempo de exposición definido como el tiempo actual que la persona está expuesta al peligro que concierne al estudio.

Índice o Número de Mortalidad (The Mortality Index or Number). Es usado para caracterizar los peligros potenciales de un material tóxico en almacenamiento. Está basado en la derivación de datos históricos de fugas de energía o material y el daño observado. Actualmente es considerado un índice de peligros más que un índice de riesgos puesto que la frecuencia de ocurrencia no está incorporada.

Índice DOW de Exposición Química (DOW Chemical Exposure). Estima el riesgo asociado con la fuga de un químico tóxico, puesto como una alternativa de Índice de Peligrosidad Tóxica.

El Índice DOW de explosión e incendio Índice Mond de riesgos. Estos índices de riesgo son números o tabulaciones y pueden ser usados con sentido absoluto o en forma relativa. Algunos índices de riesgos representan simplificaciones de índices de riesgos más complejos.

2.6.2 Índices Mond y Dow de Fuego y Explosión

Índice Dow de Fuego y Explosión (DOW's Fire & Explosin Index) y el Índice Mond, estiman el riesgo relativo de fuegos y explosiones. Estos índices pueden también ser usados para estimar la magnitud del daño potencial de una planta por una explosión o fuego. Son métodos relativamente simples para calcular el riesgo de una área de proceso y evaluarla proporcionando un valor relativo de pérdidas por fuego y explosiones potenciales para unidades de proceso individuales. Las medidas cuantitativas usadas en el análisis están basadas en datos de pérdidas históricas, mediante la división del proceso en unidades de proceso separadas (a conveniencia del analista), a las que se dan las asignaciones de los índices de acuerdo a las características físicas y químicas del material, condiciones de operación, características del proceso, medidas de seguridad, normas y códigos aplicables a los equipos y líneas del proceso, así como, a los planes de emergencia. Este índice se ha ido estructurando de acuerdo a los resultados que se han obtenido en la práctica, esto para hacerlo más simple en su aplicación, es decir, haciendo cambio en sus sistemas de unidades, inclusión de aspectos de toxicidad, de gráficas y ecuaciones.



2.7 Métodos Generalizados

El uso de Métodos Generalizados proporciona una herramienta completa de identificación y evaluación de riesgos, están basados en estructuras de razonamiento lógicas. Su aplicación se basa en la lógica causa-efecto, dando pie a la búsqueda de todos los sucesos que puedan dar origen a una situación de peligro así como a las consecuencias que originen los posibles accidentes. Como herramientas son muy útiles y versátiles, ayudan a identificar y mitigar los riesgos de un proceso y además ayudan a mejorar la eficiencia del proceso.

2.7.1 Análisis de Modos de Fallas y Efectos (MFEA)

Análisis de Modos de Fallas y sus Efectos (Multiple Failure / Error Analysis, MFEA). La técnica consiste en identificar los modos de falla de los equipos y los efectos que estos producen sobre otros componentes y sobre el sistema completo de la planta. Su objetivo es organizar y documentar lo que se conoce acerca de los efectos de las fallas de los componentes de un sistema determinado, originando recomendaciones para tener mayor confiabilidad en los equipos y por ende en la seguridad de los procesos. Al momento de realizar el análisis, es importante contar con la información necesaria de diseño, operación e interacciones del elemento en el sistema que se está analizando para poder tener un enfoque que permita identificar los efectos de falla de este. Tiene aplicación en las etapas de Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalles, Arranque y Operación.

El análisis se hace por medio de un procedimiento de tabulación, haciendo un listado de todas las combinaciones potenciales relevantes de fallas de equipos y/o errores humanos que pueden causar o provocar situaciones peligrosas o accidentes. Pueden registrarse varios sucesos como causa ya que hay una gran cantidad de casos de catástrofes documentadas de incidentes ocurridos en plantas de proceso que fueron causados por coexistencia de tres sucesos independientes

Tabla 2.7: Ventajas y Desventajas del Análisis de Modo de Fallas y sus Efectos

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Es fácil de interpretar por personal no entrenado.	Para obtener buenos resultados se necesita que el grupo de análisis tenga mucha experiencia.
Se requiere poco tiempo para desarrollar un estudio detallado.	No proporciona suficiente detalle para sustentar una cuantificación uniforme de los efectos del sistema.
Se visualizan fallas graves con mucha rapidez.	Existe la posibilidad de que queden ocultas interacciones importantes entre los componentes y/o sistemas.



2.7.2 Análisis de Árbol de Fallas (Fault Tree Analysis, FTA)

Es un método para identificar combinaciones de fallas de equipos y errores humanos que pueden resultar en un accidente, siendo por lo tanto, una técnica deductiva que a partir de un evento particular provee la metodología para determinar sus causas. El Árbol de Fallas por sí mismo facilita una visión gráfica de las diferentes combinaciones de fallas de equipos y errores humanos que pueden conducir a un accidente. Por medio de la aplicación de ésta técnica y gráfica se puede obtener:

- La secuencia de acontecimientos que pueden conducirnos a un incidente (suceso culminante).
- Estimar la frecuencia de ocurrencia del incidente (o cuando dar mantenimiento al equipo).
- Determinar la combinación de fallas de equipos, condiciones de operación, condiciones ambientales y errores humanos que contribuyen al incidente.
- Identificación de las medidas a tomar para el mejoramiento, rehabilitación o seguridad y la evaluación de su impacto al implementarse, identificando cuales medidas inciden más.

En un Árbol de Fallas se desglosan los elementos que contribuyen a un accidente, en fallas humanas, fallas de equipos, sucesos externos, etc. Obteniéndose una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar el suceso culminante ubicado en la cúspide del árbol.

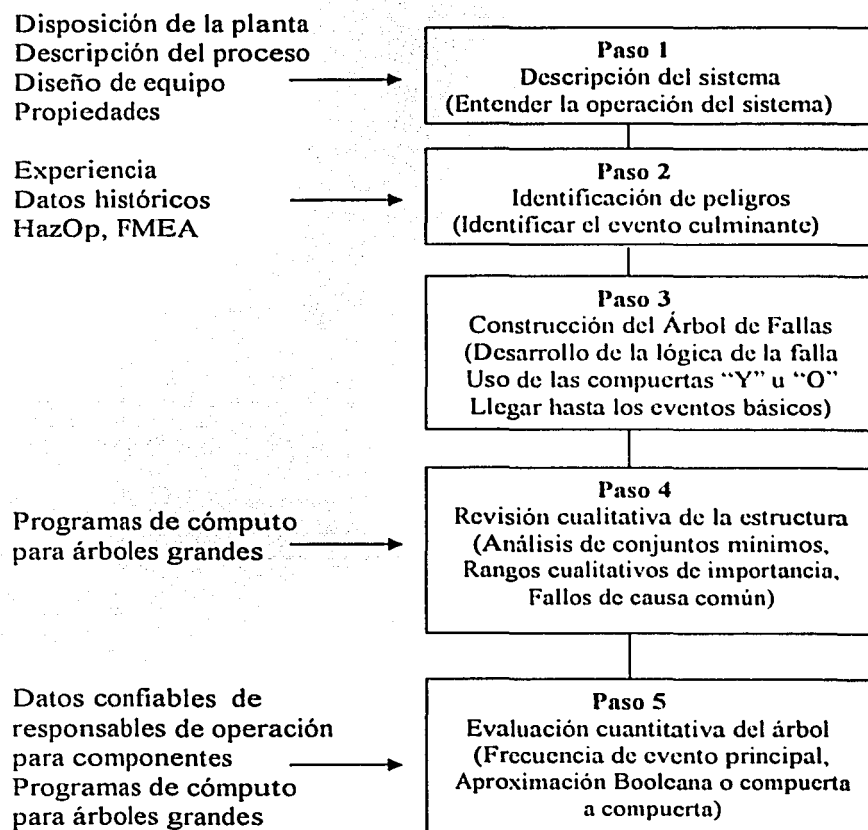
La técnica consiste en la suposición de que ocurre un evento no deseado (ocurrencia de un accidente o una desviación peligrosa de cualquier tipo), realizando posteriormente la búsqueda de causas relacionadas, y así mediante una cadena de sucesos consecutivos se desemboca en el evento culminante del árbol. Cuando se han estructurado todas las secuencias razonables, el árbol esta construido.

El método es aplicable a un solo sistema o a sistemas interconectados. Para la parte cualitativa del Árbol de Fallas se asigna una probabilidad a cada evento. La tabla 2.8 muestra como determinar la probabilidad o la frecuencia de dos o más eventos básicos.

Después de calcular los grupos de elementos hasta llegar al elemento culminante se puede hacer uso del álgebra booleana y aplicar con ella el *método de conjuntos mínimos* mediante el cual se obtiene otro Árbol de Fallas equivalente al anterior matemáticamente, solo que este nuevo árbol no contiene estructuras o cadenas repetidas (ver figura 1).

Tabla 2.8: Reglas para el Cálculo del Árbol de Fallas⁽¹⁾.



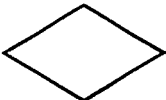

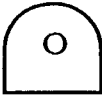

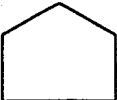
COMPUERTA PARA SALIDA	PAREJA DE ENTRADA UNIDADES	CALCULO DE PROBABILIDAD	
"O"	$P_A \text{ O } P_B$ $F_A \text{ O } F_B$	$P(A \text{ O } B) = P_A + P_B - P_A \cdot P_B$ $F(A \text{ O } B) = F_A + F_B - F_A \cdot F_B$	t^{-1}
"Y"	$P_A \text{ Y } P_B$ $F_A \text{ Y } F_B$ $F_A \text{ Y } P_B$	$P(A \text{ Y } B) = P_A \cdot P_B$ Par inusual, manejar como $F_A \text{ Y } F_B$ $F(A \text{ Y } B) = F_A \cdot F_B$	t^{-1}

Figura 1: Pasos a Seguir para la Construcción del Árbol de Fallas⁽¹⁾.



La técnica FTA usa puertas de entrada y salida, las cuales son representadas por símbolos y por las letras “Y” (que representa el producto) y “O” (que representa la suma), así como de los otros símbolos mostrados en la tabla 2.9 que ayudan en la construcción del árbol de la manera más lógica posible.

Tabla 2.9: Simbología para el Árbol de Fallas⁽¹⁾.

Símbolo	Aplicación
	<i>Sucesos Intermedios: Resultan de la interacción de otro suceso, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.</i>
	<i>Sucesos Básicos: Constituyen la base del árbol, es la causa básica. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos.</i>
	<i>Sucesos no Desarrollados: No son sucesos básicos y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.</i>
	<i>Puertas “Y”, representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.</i>
	<i>Puertas “O”, representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.</i>
	<i>Transferencias: se utilizan para continuar el desarrollo del árbol de fallas en otra parte (por ejemplo, en otra página por falta de espacio).</i>
	<i>Condición externa: Se utiliza para indicar una condición o un suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas.</i>



A continuación se presentan algunos criterios para evaluar la probabilidad en Árbol de Fallas^(1,2):

Probabilidad	Equivalencia de la probabilidad
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 (Si no se ha presentado en 5 años)
10^{-7}	Improbable (No se ha presentado en 10 años)
10^{-9}	No hay posibilidad de que ocurra el riesgo.

Cálculo de la probabilidad de ocurrencia del Árbol de Fallas por el método de Conjuntos Mínimos⁽¹⁾.

Un Árbol de Fallas es una representación lógica de las secuencias de acontecimientos que pueden llevar a un suceso arbitrariamente elegido como “suceso culminante”. Cuando todas las secuencias razonables se han identificado y el árbol está bien construido, el análisis FTA es posiblemente la herramienta más poderosa para la cuantificación de riesgos. El Árbol de Fallas consiste en varios niveles de sucesos, conectados por puertas Y o puertas O. Las citadas conexiones lógicas suelen representarse utilizando el Álgebra de Boole. Las reglas utilizadas con más frecuente aplicación al análisis de Árbol de Fallas se muestran en la tabla 2.10.

Tabla 2.10: Reglas del Álgebra Booleana de uso Frecuente en el Análisis de Árbol de Fallas⁽¹⁾.

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

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.

Para terminar el árbol se emplea entonces la técnica conocida como Análisis de Conjuntos Mínimos (Minimal Cut Set Analysis) la cual consiste de una técnica matemática para manipular la estructura lógica del Árbol de Fallas e identificar así todas las combinaciones de eventos básicos los cuales inciden en el evento culminante mediante el uso de las reglas del álgebra booleana. Así la estructura lógica del Árbol de Fallas original es matemática y lógicamente equivalente a la estructura original solo que con una estructura mínima de conjuntos. El proceso de transformación abarca cualquier evento singular que aparezca repetidamente (fallas de causa común) en varias ramas o niveles del árbol, para reducirlo al mínimo.

El procedimiento consiste en ordenar la estructura del Árbol de Fallas de forma que pueda expresarse en términos de ecuaciones algebraicas booleanas, para poder 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 va a quedar en términos de eventos básicos que serán posteriormente reestructurados en un nuevo árbol (el árbol reducido), que es equivalente al primero matemáticamente.

Ya obtenido el árbol por medio de los conjuntos mínimos podemos calcular la probabilidad y frecuencia de ocurrencia del evento culminante:

Ecuación 1: Cálculo de la Frecuencia de Ocurrencia.

$$f = -\ln(1-P) / t$$

Donde: f = eventos/año y t = años.

2.7.3 Análisis de Árbol de Eventos (ETA)

El Análisis de Árbol de Sucesos o Eventos (Event Tree Analysis, ETA). Es un método gráfico que evalúa las consecuencias dadas por la ocurrencia de un suceso determinado mediante ramas o cadenas lógicas, se construye el árbol conectando el suceso inicial con los eventos que pueden propagarse a partir del suceso, desglosando en cada rama una línea de evolución hasta llegar a los efectos finales. Todos los resultados obtenidos de este tipo de análisis son consecuencias del primer evento.



2.7.4 Análisis ¿Qué pasa si...? (What if ?)

Esta técnica tiene como objetivo el identificar y analizar cualitativamente las desviaciones respecto al comportamiento normal del proceso, que pudiesen dar lugar a eventos indeseables. El desarrollo del estudio consiste en formular y aplicar una serie de preguntas a la instalación, de tal manera de poder detectar desviaciones a la intención de diseño de la misma. La técnica se aplica para evaluar el campo de sistemas de protección de procesos y es un método de análisis de riesgos general que difiere de otros porque no es tan rígido y sistemático y puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda la empresa, con este método se supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó.

El Análisis ¿Qué pasa si...? Es un método en el que se realiza un proceso especulativo de “Tormenta de ideas” (Brainstorming), donde un grupo de expertos familiarizados con el proceso bajo estudio tienen que resolver una pregunta básica ¿Que pasa si...?, dirigida a una serie de eventos de riesgos posibles. Este método se puede usar prácticamente en todas las etapas de un proyecto y tiene muy buena reputación entre quienes conocen su aplicación. La pregunta se aplica a áreas concretas, tocando cada uno de los elementos del sistema y procedimientos de operación para determinar las desviaciones o fallas, entre lo que se tiene y lo que se debería tener. Es realizado por dos o tres expertos que poseen documentación detallada de la instrumentación, procedimientos de operación o acceso a personal de la planta para proveerse de información complementaria.

Algunos ejemplos de preguntas con este método serían:

¿Que pasaría si hay una...

Pérdida de servicios (agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos o de proceso?)

Pérdida del sistema de enfriamiento?

Pérdida de energía eléctrica?

Pérdida de electricidad de emergencia?

Pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?

Descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura?

Reacción de descomposición o polimerización incontrolada?

Pérdida del sistema de agua contra incendio?

Explosión o un incendio interno?

Falla del operador al efectuar alguna operación crítica?



Este método se emplea con frecuencia durante la etapa operativa del sistema, en la que con el tiempo se han realizado modificaciones ó mejoras a las instalaciones, al proceso y a los procedimientos de operación y mantenimiento. En estos casos es conveniente identificar las deficiencias y los riesgos.

Contestando a estas u otras preguntas clave se tendrá una evaluación de los efectos de fallas de equipo, errores en procedimientos, desastres naturales, etc. Los resultados dependerán de la experiencia y de la capacidad imaginativa del grupo de análisis. Esta técnica conduce a la aplicación de las medidas preventivas requeridas para el control de la falla.

2.7.5 Análisis HazOp

El HazOp es un método de análisis que permite identificar y evaluar riesgos y problemas que impidan la operación eficiente de una instalación industrial. Es una técnica que evalúa en forma sistemática todos los equipos, procedimientos operacionales y eventos generados por desviaciones a la intención del diseño. Con esta técnica se le permite a un equipo multidisciplinario liberar su imaginación y revisar todas las formas posibles en que los riesgos y/o problemas de operación pudieran surgir. Es aplicable en cualquier etapa de una planta, durante su diseño, instalación u operación.

El Análisis de Riesgos y Operabilidad (Hazard and Operability Analysis, HazOp), no solamente ayuda a la industria en la prevención de eventos catastróficos, sino que también puede: elevar el conocimiento del personal operativo, mejorar los procedimientos técnicos, mantener información precisa de la seguridad de los procesos, e incrementar la productividad de la instalación.

La técnica se caracteriza por los dos siguientes puntos:

1. *Carácter sistemático*: 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, consecuencias, salvaguardas y posibles acciones correctivas.
2. *Carácter multidisciplinario*: El análisis HazOp es aplicado por un equipo que debe ser formado por personas de distinta experiencia y formación. Los miembros del equipo exponen las desviaciones, causas consecuencias y soluciones que se les ocurren, debido que a sus diferentes entrenamientos y experiencia en distintas áreas permiten una rica discusión con diferentes enfoques sobre un mismo punto, por ello se



debe permitir la participación fluida en el análisis aunque a primera vista cualquier idea sobre las causas, efectos o recomendaciones parezca poco razonable ó imposible.

Este método requiere de una descripción completa del proceso, cuestiona cada una de las partes del proceso y cada componente para descubrir que desviaciones de la intención de diseño pueden ocurrir y pueden dar lugar a daños a la planta, personal o medio ambiente. Se determinan las causas y las consecuencias por cada desviación indicando cuales son las condiciones en que se presentaría cada desviación. En la tabla 2.11 se muestran las definiciones de algunos términos.

Tabla 2.11: Terminología para el Análisis HazOp⁽¹⁰⁾.

TERMINO	DEFINICIÓN
<i>Circuito</i>	<i>Sección de equipos con límites definidos dentro del cual los parámetros de proceso son investigados por desviaciones.</i>
<i>Nodo</i>	<i>Subdivisión de un sistema de proceso, que tiene un origen, en donde comienzan nuevas propiedades del material procesado y un destino, donde nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe de ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y lo suficientemente grande para que sea significativo.</i>
<i>Parámetro</i>	<i>Es una manifestación física o química del proceso como lo es el flujo, nivel, presión, temperatura, velocidad, composición, mezcla, viscosidad, voltaje, etc.</i>
<i>Salvaguarda o Protección</i>	<i>Son los sistemas ingenieriles o controles administrativos diseñados para prevenir las causas o mitigar las consecuencias de las desviaciones.</i>
<i>Medida Correctiva</i>	<i>Es la que reduce la probabilidad del riesgo identificado ó mitiga sus efectos cuando dicho riesgo se transforma en accidente.</i>
<i>Índice de riesgo</i>	<i>Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad, y puede expresarse como sigue: Índice de riesgo (perdida año) = Índice de frecuencia (evento /año) * Índice de gravedad (pérdida/evento).</i>
<i>Palabras Guía</i>	<i>Son palabras sencillas que son usadas para cuantificar la intención de diseño y para guiar y estimular el proceso propositivo de identificación de peligros.</i>
<i>Desviaciones</i>	<i>Son los cambios en la intención de diseño y se ponen al descubierto por la aplicación sistemática de las palabras guía.</i>



La técnica HazOp denomina puntos específicos del proceso como nodos, y que son secciones manejables del proceso, operaciones sencillas, equipos o líneas de interconexión de equipos. El equipo multidisciplinario examina así uno a uno, cada nodo, buscando desviaciones potenciales derivadas de las palabras guía (Tabla 2.12) establecidas, es decir, busca circunstancias en las cuales la intención de diseño no se cumple ya que estas desviaciones producen consecuencias y al mismo tiempo tendrán causas que las originan.

Un requisito indispensable para la aplicación correcta de la técnica HazOp es que los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) estén actualizados ya que al trabajar sobre ellos en las sesiones de trabajo es necesario contar con la información real del proceso. El análisis será más enriquecedor en tanto más preguntas se formulen en la sesión en torno a las posibles desviaciones, sus causas y consecuencia, así como de la habilidad y experiencias de los miembros del equipo. La persona que dirija el estudio debe de tener experiencia en el análisis HazOp, su misión es actuar de facilitador asegurando que se siga el procedimiento correcto, sin descuidar ningún detalle, promoviendo en todo momento la discusión. Por último, cabe señalar que el registro del análisis debe de ser sistematizado en un formato sencillo, el cual es regularmente por columnas, la estructura de este formato debe de ser práctica para el registro efectivo de los datos y su estructura puede ser diferente para cada equipo multidisciplinario de trabajo, ya que lo que se busca es poder vaciar en un formato practico la información se va generando en la sección de aplicación de la técnica.

Tabla 2.12: Palabras Guía y su Significado⁽¹⁰⁾

<i>PALABRA GUÍA</i>	<i>SIGNIFICADO</i>
<i>No</i>	<i>La completa negación de la intención de diseño. Ninguna parte de la intención de diseño.</i>
<i>Más / Menos</i>	<i>Aumento o disminución cuantitativa sobre la intención de diseño.</i>
<i>Además de</i>	<i>Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más.</i>
<i>Parte de</i>	<i>Disminución cualitativa. Solo parte de los hechos o acciones transcurren.</i>
<i>Inverso</i>	<i>Se obtiene el efecto contrario al deseado.</i>
<i>En vez de</i>	<i>No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo totalmente distinto.</i>

*Matriz de riesgos*

El índice ó número de riesgo nos permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad ó no del riesgo, ó bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. Para establecer las prioridades de las recomendaciones implementadas se deberá apoyarse en una matriz de índice de riesgo (tabla 2.15) que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad ó gravedad de las consecuencias del mismo.

Tabla 2.13: Niveles de Frecuencia.

FRECUENCIA	NIVEL
No más de una vez en la vida de la planta	1
Hasta una vez en diez años	2
Hasta una vez en cinco años	3
Hasta una vez en un año	4
Más de una vez al año	5

Tabla 2.14: Niveles de Gravedad.

GRAVEDAD	NIVEL
No tiene impacto en la planta, el personal o los equipos	1
Daños a los equipos o generación de fugas menores	2
Lesiones al personal de la unidad. Todos los daños se limitan a la planta	3
Destrucción y daños limitados a fuera de la planta	4
Destrucción y daños extensivos	5

Tabla 2.15: Matriz de Riesgo

		<i>Gravedad</i>				
		1	2	3	4	5
<i>Frecuencia</i>	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	7	8
	3	3	6	7	8	9
	4	4	7	8	9	10
	5	5	8	9	9	10

Clasificación de 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: Las recomendaciones de la clase A tienen alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para mitigar la ocurrencia del accidente ó su consecuencia. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 8 a 10.

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

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

La siguiente tabla muestra los niveles de frecuencia y de gravedad que se utilizaron para la creación de la matriz de riesgos.

Tabla 2.16: Matriz de Riesgo con Clasificación.

		<i>Gravedad</i>				
		1	2	3	4	5
<i>Frecuencia</i>	1	C	C	C	B	B
	2	C	B	B	B	A
	3	C	B	B	A	A
	4	B	B	A	A	A
	5	B	A	A	A	A

Finalmente, para poder ver de manera global las etapas para la realización de un estudio HazOp, a continuación se muestran las siguientes cinco tapas que comprenden el estudio y en las que se detallan las actividades necesarias para la realización del estudio desde sus objetivos hasta sus resultados:



Las etapas para la realización de un estudio HazOp

1. Definición del alcance y los objetivos.

2. Actividades de preparación para el estudio.

-Recopilación de información relevante (descripción del proceso, manual de operación, materiales de construcción, dibujos y diagramas, información de los materiales de proceso utilizados, bitácoras de mantenimiento y historia de accidentes/incidentes y sus consecuencias).

-Actualización de DTT's y DIP's, en caso de no estar actualizados.

-Selección de Circuitos.

-Conformación del equipo multidisciplinario de trabajo.

-Exposición de la técnica al equipo.

3. Desarrollo práctico del trabajo (aplicación de la técnica).

-Selección de circuitos, y nodos.

-Explicar la intención de diseño del circuito.

-Seleccionar los parámetros importantes para encontrar las posibles desviaciones de la intención de diseño con la ayuda de las palabras guía.

-Listar causas para cada desviación.

-Listar consecuencias para cada desviación, asumiendo que todas las protecciones fallan.

-Listar las protecciones existentes.

-Determinar el índice de riesgo con y sin protecciones.

-Proponer acciones correctivas o recomendaciones.

4. Actividades complementarias.

-Elaborar una lista con todas las recomendaciones depurándolas y colocándolas en forma jerárquica.

-Elaborar un plan de trabajo.

2.8 Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR)

El Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) consiste en la evaluación sistemática de una instalación industrial propuesta o existente, con el fin de identificar todo evento potencialmente peligroso y estimar los daños al personal, instalaciones, a terceros y el ambiente, como consecuencias de fugas de sustancias tóxicas e inflamables, y así poder cuantificar el nivel de riesgo implícito mediante la estimación de la frecuencia de ocurrencia y de la magnitud de sus consecuencias. El propósito principal del Análisis Cuantitativo de Riesgos es jerarquizar los eventos no deseados y por ende, derivar criterios de juicio que permitan tomar decisiones que conlleven al incremento de los niveles de seguridad de la instalación.



2.8.1 Análisis de Consecuencias (AC)

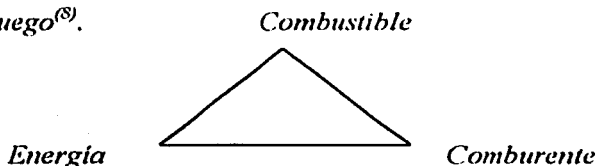
El Análisis de Consecuencias (AC) es una herramienta que mediante la aplicación de modelos matemáticos proporciona información de la magnitud de los efectos esperados en caso de la ocurrencia de un accidente. Por ejemplo: Las explosiones e incendios pueden causar daños por quemaduras directas ó por radiación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

2.8.2 Incendios y Explosiones

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

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

Figura 2: Triangulo de Fuego⁽⁸⁾.





2.8.3 Inflamabilidad ⁽⁸⁾

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

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

2.8.4 Dardos de Fuego (Jet Fires) ⁽⁸⁾

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

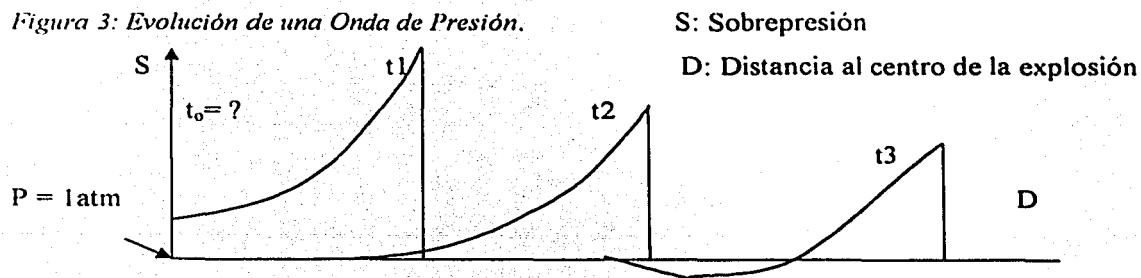
Los modelos desarrollados para el cálculo de dardos de fuego son empíricos, pero han sido bien aceptados en la literatura. Los modelos solo describen flamas producidas por gases inflamables en aire. Los modelos de dardos de fuego requirieron de una estimación de lo largo de la flama, que es determinada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



Son las que ocurren fuera de lugares cerrados o recipientes de proceso. La explosión de una nube de vapor requiere como paso previo la formación de dicha nube, por ejemplo, a partir del colapso de un recipiente conteniendo un líquido inflamable volátil o a partir de la fuga de un gas inflamable. El tiempo que tarda en ocurrir la ignición a partir del momento en el que comienza la emisión del combustible es un factor crítico en la determinación del poder destructivo de la explosión. Así en una ignición temprana el tamaño de la nube inflamable es aun lo suficiente pequeño como para que los efectos sean de baja magnitud. A medida que aumenta el tiempo hasta la ignición, los efectos van aumentando como consecuencia de la acumulación de material en la nube. Por último, si la ignición se retrasa lo suficiente, la mayor parte de los materiales emitidos puede haberse diluido hasta concentraciones por debajo del límite de inflamabilidad, con lo que los efectos serían pequeños o inexistentes.

La explosión de una nube de gas o de polvo combustible produce un frente de reacción que se desplaza a partir del punto de ignición, precedido por una onda de choque o frente de presión. Esta onda de choque subsiste después de que el material de la nube ha sido consumido, desplazándose a distancias cada vez mayores del punto de ignición, hasta que se amortigua por completo intercambiando cantidad de movimiento con los alrededores. La figura 3 representa la evolución de los perfiles de sobrepresión a medida que la onda se aleja del punto original. La forma concreta del perfil de presión en los instantes iniciales depende del tipo de explosión. En todo caso, a cierta distancia del punto original, la región de presión positiva (sobrepresión) suele estar seguida de una zona de enrarecimiento, en la que existe una débil presión negativa respecto a la atmosférica, que por lo general no excede los 0.25 bares en valor absoluto. A pesar de ello sus efectos destructivos pueden ser muy importantes, debido a que, en la mayoría de los casos, los edificios no están diseñados para resistir presiones mayores en el interior que en el exterior.

Figura 3: Evolución de una Onda de Presión.



CAPÍTULO III TRABAJO DE CAMPO





3.1 El Proceso de Hidrodesintegración Catalítica ^(2 y 3)

A pesar de que la hidrogenación es uno de los procesos catalíticos más antiguos empleados en la refinación del petróleo, no ha sido sino hasta hace algunas décadas en que la desintegración catalítica con hidrógeno se ha desarrollado con gran extensión en la Industria de Refinación. El interés por el uso de craqueo con hidrógeno ha sido motivado por factores diversos; entre ellos: 1) La demanda de gasolina se ha incrementado ocasionando un mayor consumo de destilados medios, y 2) En los últimos años se dispone de hidrógeno como subproducto de bajo costo y en grandes cantidades, procedente de las operaciones del reformado catalítico. Si sumamos a esta disposición de hidrógeno el desarrollo de mejores catalizadores que permitan trabajar a presiones relativamente bajas, entonces será posible contribuir a la satisfacción de la demanda de destilados combustibles transformando residuos derivados del petróleo con puntos de ebullición altos en gasolinas, combustibles para reactores, combustibles para termoeléctricas, etc.

Algunas de las ventajas del craqueo catalítico con hidrógeno son:

1. Mejor balance en la producción de gasolina y destilados.
2. Mejoramiento en la calidad del número de octanos de la gasolina.
3. Producción de cantidades relativamente altas de isobutano en la fracción de butanos.
4. Complementa el craqueo catalítico degradando los aceites pesados, aromáticos, aceites cíclicos y aceites de coque hasta gasolinas, combustible para reactores y combustibles ligeros.
5. Sus productos contienen niveles bajos de azufre, nitrógeno y metales.

En una refinería moderna el craqueo catalítico y el craqueo con hidrógeno trabajan conjuntamente. El craqueo catalítico toma como alimento gasóleos atmosféricos y de vacío, fácilmente convertibles a fracciones más ligeras, mientras que el rompimiento con hidrógeno utiliza como alimento los aceites cíclicos y los destilados de coque, gracias a las altas presiones y a la atmósfera rica en hidrógeno.

1. Residuos de Petróleo y Aceites Crudos Pesados.

Las reservas de petróleo a nivel mundial se han clasificado de acuerdo a sus propiedades físicas y químicas según el Instituto Francés del Petróleo (IFP).

[a] US Bureau of Mines

Tabla 3.1: Clasificación del IFP de los Aceites Crudos^(a)

Propiedades	Superligero	Ligero	Medio	Pesado	Extrapesado
Gravedad API	70-57	52 - 37	37 - 20	20 - 10	< 10
Azufre, % peso	< 0.1	0.1- 1.5	1.5 - 4.0	4.0	--
Metales (Ni+V), ppm	---	< 10	10 - 90	300	--
Carbón % peso	< 0.1	0.1 - 3.0	3 - 13	13	--
Recuperado a 350°C, %vol	100-95	95 - 70	70 - 55	25	--

Los crudos pesados son los que tienen una gravedad API menor a 20, alto contenido en metales, nitrógeno, azufre y oxígeno, así como alto contenido de Carbón Conradson. Petróleos Mexicanos clasifica los aceites crudos en dos grupos:

Pesado. Aceite crudo con gravedad API ° <27. (El aceite crudo Maya es clasificado como pesado).

Ligero y otros. Aceite crudo con gravedad API ° >27

Tabla 3.2: Aceites Crudos de Diferentes Regiones⁽¹⁴⁾.

	Ligero Árabe	Pesado Árabe	Ardeshir Irán	Maya México	Bachaquero Venezuela	Cold Lake Canadá
Crudo						
Gravedad, °API	33.4	27.9	27.0	22.0	16.8	10.2
Azufre, % peso	1.8	2.9	2.5	3.2	2.4	4.4
Ni+V, ppm p	20.0	65.0	85.0	330.0	340.0	260.0
Residuo de vacío 565.5°C+						
Rendimiento, % vol.	14.8	23.2	25.0	31.5	38.0	44.8
Gravedad, °API	6.9	3.4	3.5	0.5	3.4	0.4
Azufre, % peso	4.3	6.0	5.0	5.8	3.4	6.2
Ni+V, ppm p	140.0	270.0	320.0	1,050.0	900.0	590.0

En la tabla 3.3 se observa la clasificación de las fracciones pesadas por orden de volatilidad decreciente, este esquema puede alterarse según las necesidades del mercado y de acuerdo con la naturaleza del crudo.

Tabla 3.3: Fracciones Obtenidas en la Refinación por Orden de Volatilidad y Longitud de Cadenas⁽¹⁹⁾

Fracción /	Producto	Ebullición T(°C)	Cadena	Aplicaciones
Fracciones ligeras	Gas natural de refinería (GLP)	< 20 °C	C ₁ -C ₂	Combustible para Refinería e Industrial. Calefacción doméstica e industrial. Carburante para automóviles. Materia prima para productos químicos.
	Gasolina directa	< 20 °C	C ₃ -C ₄	
	Nafta pesada	40-150 °C	C ₅ -C ₉	
		150-200 °C	C ₁₀ -C ₁₂	
Fracciones Intermedias	Queroseno	170-250 °C	C ₁₃ -C ₁₇	Lámparas de alumbrado, carburante para turborreactores. Carburante para motores Diesel. Calefacción doméstica.
	Gasóleo	250-320°C	C ₁₇ -C ₂₀	
Fracciones Pesadas	Combustoleo ligero	340-400 °C	C ₂₀ -C ₃₅	Combustible para termoelectricas. Materia prima para Lubricantes, Ceras parafinas, Cremas, Aceites esenciales Pavimentación, Teclado, Impermeabilización, Abrasivos.
	Combustoleo pesado	400-500 °C		
	Asfaltos	> 500 °C		



3.2 Tecnologías de Hidroprocesamiento⁽¹³⁾

La búsqueda de procesos que permitan sacar más provecho de los crudos y fracciones pesadas, además de eliminar los compuestos contaminantes que contienen, ha llevado a la generación de nuevas tecnologías, por ello las refinerías se han visto en la necesidad de hacer reconfiguraciones o bien incluir nuevas unidades de proceso que puedan dar mayor rendimiento a la refinación.

El hidrocraqueado catalítico o hidrotratamiento catalítico (HDT) es un proceso que se utiliza en el procesamiento de fracciones provenientes de la destilación del petróleo, en el cual se pone en contacto la carga con un catalizador y en presencia de hidrógeno en abundancia. Este proceso es utilizado para disminuir la concentración de contaminantes como el azufre, nitrógeno y metales. En un proceso de hidrotratamiento podemos tener presentes reacciones de hidrodesaromatización (HDA), hidrosulfurización (HDS), hidrosnitricación (HDN), hidrosmetalización (HDM).

Existe una amplia variedad de tecnologías para el hidroprocesamiento de crudos y fracciones pesadas, se pueden clasificar en los tres siguientes grupos donde la variante es el sistema de reacción utilizado:

Lecho fijo: En este sistema de hidroprocesamiento se tiene amplia experiencia industrial puesto que cuenta con mayor número de unidades instaladas en el mundo; México no cuenta con estos sistemas. Los principales licenciadores de estas tecnologías son CHEVRON, UOP, UNOCAL (figura 3). Se opera como flujo pistón y es fácil de operar con cargas ligeras tiene la ventaja de tener condiciones de operación menos severas que en las otras tecnologías, tiene la desventaja de tener alto consumo de hidrógeno, altas caídas de presión, taponamientos y dificultades en la operación con cargas pesadas.

Tabla 3.4: Localización de Algunas de las Tecnologías de Hidroprocesamiento en Lecho Fijo⁽¹³⁾

País / Región	Unidades.	%	Capacidad Total BPD	%
Japón	16	29.64	580,300	29.15
EUA	11	20.38	501,000	25.17
Canadá	1	1.85	30,000	1.50
Europa	6	11.1	146,797	7.39
Resto del mundo	20	37.03	732,681	36.79
Total	54	100.00	1'990,778	100.00



Lecho ebulante: Este sistema de hidropesamiento esta conformado básicamente por los procesos H-Oil (HRI/IFP) y LC-Fining (ABB Limmus Crest). La experiencia industrial con este proceso es moderada, tiene la ventaja de tener una operación más confiable que en los lechos fijos para cargas pesadas, temperatura de operación uniforme en el lecho y perfil de temperatura con una distribución uniforme a lo largo del reactor, flexibilidad en la operación para las condiciones de operación, tipos de carga y catalizador así como la adición/extracción del catalizador sin afectar la operación, las desventajas son las condiciones severas de operación, altas reposiciones de catalizador y formación de sedimentos.

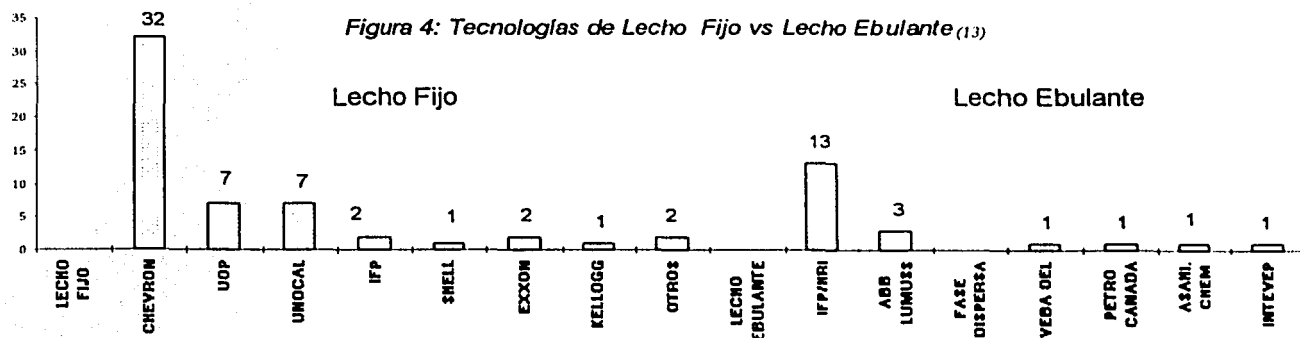
Tabla 3.5: Licenciadores de Tecnologías en Hidropesamiento^(13, 4, 5)

Planta	Carga bls/d	País	Residuos
KNPC Shuaiba	56,000	Kuwait	Residuos de vacío Kuwait
STAR ENTERPRISE Convent	52,000	EUA	Residuos de vacío Arabes
PEMEX Tula	50,000	México	Residuos de vacío Istmo / Maya
PETROCHEMIA	34,000	Polonia	Residuos de vacío Rusos
TONEN Kawasaki	25,000	Japón	Residuos de vacío Arabes
HUSKY Lloydminster	36,000	Canadá	Residuos de vacío Cold Lake
PEMEX Salamanca	18,500	México	Residuos de vacío Istmo/ Maya

Tabla 3.6: Localización y Capacidades de Algunas Tecnologías de Lecho Ebulante⁽⁵⁾

País / H-Oil	Unidades	Capacidad BPD	País / LC-Fining	Unidades	Capacidad BPD
México	2	68,500	Estados Unidos	1	57,000
Kuwait	1	56,000	Canadá	1	40,000
EUA	1	52,000	Italia	1	25,000

Fase dispersa: Estos sistemas hidropesamos crudos pesados o residuales, las tecnologías disponibles solo han alcanzado una escala a nivel de planta piloto o de demostración, sin embargo tienen un nivel de competencia bastante fuerte que tiende a desplazar a otros sistemas. Tiene como ventaja usar catalizadores/aditivos baratos y desechables, obteniendo altas conversiones de la carga y reducida formación de coque utilizando reactores sencillos o convencionales. Su economía es similar o mejor que en lechos ebulantes. Como desventaja tiene su escasa experiencia industrial.





3.3 Planta Hidrodesintegradora Catalítica ⁽⁷⁾

El proceso en el cual se realizó el análisis de riesgos está diseñado para transformar mediante un hidrocrackeo catalítico residuos de petróleo y aceites pesados (que contienen azufre, nitrógeno y compuestos organometálicos) para obtener fracciones más ligeras y más valiosas, reduciendo de esta forma la producción de aceite combustible pesado. El aceite es hidrogenado en una cama de ebulación fluidizada que es el espacio dentro del reactor donde se mantienen en movimientos ascendentes y descendientes el gas, el líquido y los gránulos de catalizador. El proceso incluye reacciones de desulfurización, hidrogenación y desnitrificación, así como flexibilidad de conversión en cuanto a selectividad y calidad. El proceso fue inventado por Hydrocarbon Research, Inc. a principios de 1950 y desarrollado por Cities Service Research & Development. Demostrado primeramente en Lake Charles, LA, USA en 1963; comercializado en Kuwait en 1968 y después instalado en México y los Estados Unidos. Nueve unidades fueron construidas entre 1963 y 1998. Una planta está en construcción. Actualmente este proceso acumula más del 50% del mercado mundial del hidroprocesamiento de residuos de vacío dada su flexibilidad única para manejar una amplia variedad de crudos pesados y producir combustibles limpios más ligeros. Los residuos de este proceso pueden ser utilizados como combustóleo ecológico o retomarlos al craqueo catalítico.

La unidad en la que se realizó el estudio HazOp está diseñada para hidrocrackear arriba de 25000 bls/d de carga mixta (constituida por una mezcla de extracto de aceites lubricantes, asfalto de plantas desasfaltadoras y residuo de alto vacío), sin embargo este tipo de plantas pueden construirse para diferentes capacidades.

El proceso está diseñado para transformar residuo pesado amargo de alto vacío, conteniendo azufre, nitrógeno y compuestos organometálicos, a productos de un rango más ligero y más valiosos. El proceso tiene flexibilidad de conversión tanto como de desulfurización.

3.3.1 Configuración del Proceso

La sección de reacción (diagrama 10D-A-1) de la unidad consta de dos reactores en paralelo, un calentador a fuego directo para la carga aceitosa y otro para el hidrógeno de alimentación y recirculación, dos compresores para el hidrógeno de alimentación y carga respectivamente y una serie de separadores vapor- líquido.



Los reactores son del tipo cama agitada en los cuales las partículas de catalizador se mantienen en movimiento caótico por una circulación interna de la fase líquida.

Los efluentes de los reactores se separan en una fase vapor rica en hidrógeno y en una fase líquida que se depresiona en etapas y se procesa en la sección de fraccionamiento (diagrama 10D-A-2) para la recuperación de los productos. La presión en la sección de reacción es normalmente controlada por ajuste en la temperatura del reactor, la cantidad de carga y de hidrógeno de alimentación.

3.3.2 Reactores de la Planta de Hidrodesintegración Catalítica⁽⁶⁾

La carga fresca de hidrógeno se pone en contacto con una cama de catalizador a base de cobalto-molibdeno que está en movimiento caótico, debido al flujo ascendente del aceite y los gases. Las partículas de catalizador son de 0.8 mm de diámetro y cerca de 4mm de largo. Los sitios de reacción son pequeños poros que facilitan la penetración del aceite y el hidrógeno.

Con el catalizador fresco, la reacción de hidrogenación es muy rápida. Pero, al envejecer el catalizador, se deposita carbón sobre él, además, poco a poco va siendo envenenado por el níquel y el vanadio presentes en el residuo aceitoso. Como resultado de estos factores, la actividad de hidrogenación del catalizador, disminuye con el tiempo.

Una ventaja adicional de este proceso es la posibilidad de añadir y retirar catalizador del sistema ya sea bajo una base intermitente o continua. Esta facilidad permite la operación continua con un catalizador de actividad en equilibrio, eliminando los paros frecuentes para la regeneración del catalizador.

Con objeto de mantener una actividad constante del catalizador, es necesario retirar del reactor una parte del catalizador y reemplazarlo con catalizador fresco.

Dado que el catalizador está suspendido en el líquido, puede ser removido mientras el reactor continúa operando. La cantidad de reemplazo es normalmente de 0.12 libras (0.054Kg) de catalizador por barril de carga fresca. La actividad de hidrogenación de la cama de catalizador, es



consecuentemente, una función de la cantidad de reemplazamiento. La actividad de hidrogenación del catalizador deberá mantenerse en un nivel que permita la operatividad del reactor.

Con el reemplazo periódico de catalizador, se obtiene un equilibrio en la actividad del catalizador. El catalizador en equilibrio está compuesto por partículas de diferente tiempo de envejecimiento, desde el catalizador fresco añadido recientemente, hasta partículas que han permanecido en el reactor por varias semanas.

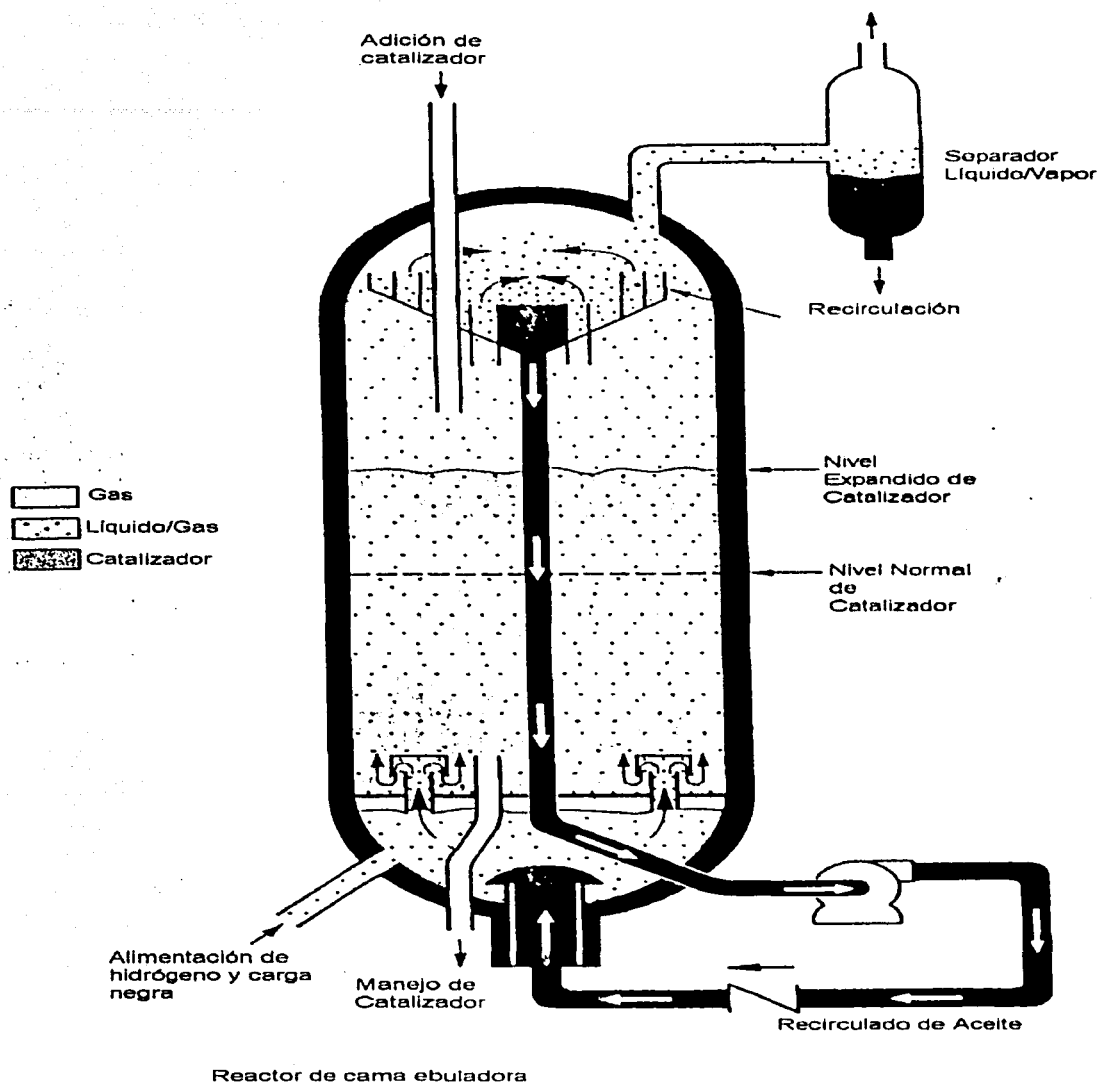
Cada reactor tiene una bomba insertada en el fondo del reactor, con un motor eléctrico externo que la impulsa. Las succiones de las bombas de agitación del reactor son unas bajantes internas con una copa ensanchada en el domo de los reactores que permite que el aceite se recircule ya libre de catalizador se colecte en las bajantes y se mantenga en recirculación con estas bombas internas. Las bombas están provistas de un control de velocidad variable de manera que la agitación puede ser controlada para ajustarlas a las condiciones de operación.

El principio básico de los reactores de cama ebuladora esta ilustrado en la figura 4. Carga fresca, aceite recirculado e hidrógeno a alta presión están en contacto con catalizador en una cama de ebulación con un flujo ascendente. La alimentación de la carga y la recirculación de aceite por medio de las bombas ebuladoras aseguran las condiciones de turbulencia necesarias para propiciar mejor contacto de los materiales con el catalizador.

Las reacciones totales son altamente exotérmicas y las condiciones de mezclado del reactor proveen excelente control de temperatura sin necesidad de recursos complicados de redistribución para el reactor. De este modo, el calor de reacción se disipa al utilizarse para elevar rápidamente la temperatura relativamente fría de la carga hasta la temperatura del reactor mediante un mezclado turbulento dentro del mismo. Las reacciones indeseables son controladas de este modo lo cual finalmente aumenta la vida útil del catalizador. Los materiales ajenos en la carga no crean problemas de caídas de presión debido a que el catalizador se encuentra en un estado de agitación y movimiento constante.



Figura 5: Esquema de los Internos de un Reactor de la Unidad de Hidrodesintegración Catalítica⁽¹⁶⁾



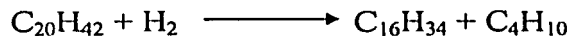
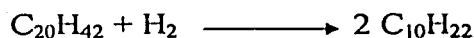


3.3.3 Química Básica de la Unidad

El diseño de la unidad requiere del empleo de catalizador a base de níquel-molibdeno sobre alumina. Los reactores están diseñados para efectuar las máximas reacciones de hidrocrqueo y así convertir las moléculas pesadas, en moléculas ligeras. Las moléculas ligeras formadas se desplazan del sistema por arrastre con gas, lo que promueve la conversión de las moléculas pesadas a moléculas pequeñas. El residuo de vacío de carga a la unidad, contiene un número muy grande de diferentes compuestos orgánicos y es totalmente impráctico identificarlos individualmente. Sin embargo, es posible determinar las reacciones aplicables a determinados componentes.

Hidrodesintegración:

Aunque en el craqueo con hidrógeno ocurren cientos de reacciones químicas simultáneas, en este proceso lo que ocurre en general es que se convierten moléculas muy grandes, en moléculas de bajo peso molecular y bajo punto de ebullición. Una reacción típica del craqueo de una molécula de 20 carbonos a dos de 10 carbonos o la alternativa de otras moléculas más pequeñas se muestra a continuación:



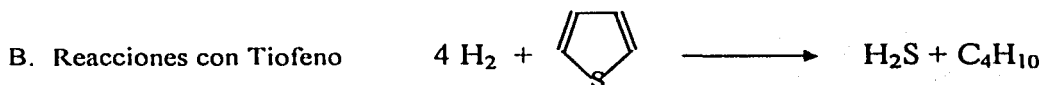
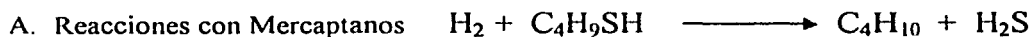
En este tipo de reacciones se consume hidrógeno reaccionando de forma exotérmica, en este proceso básicamente las reacciones de hidrocrqueo se producen con la ruptura térmica de las uniones carbón-carbón. La función del hidrógeno y el catalizador en este proceso es eliminar las reacciones de condensación evitando así la formación de compuestos grandemente insaturados. Las reacciones de condensación favorecen la formación de coque y de productos inestables.

Hidrodesulfurización

Las reacciones de desulfurización en la unidad de hidrodesintegración catalítica dependen de la actividad del catalizador y de la presión parcial del hidrógeno. En las unidades donde la desulfurización es lo requerido, la temperatura de reacción se limita a lo necesario para disminuir el hidrocrqueo, el consumo de hidrógeno y la producción de combustoleo.



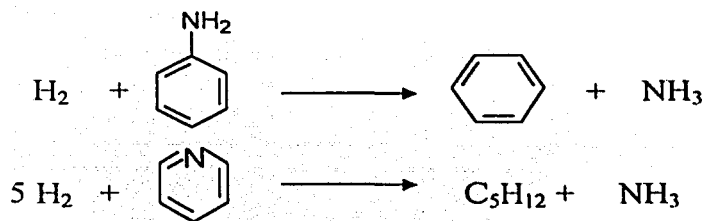
El azufre existe en las fracciones del petróleo y en el residuo en diferentes formas. Las formas siguientes corresponden a dos compuestos típicos encontrados en la nafta, y en los productos resultantes al reaccionar con hidrógeno.



Hidrodesnitrificación:

La unidad de hidrodesintegración catalítica elimina el nitrógeno de los compuestos orgánicos convirtiéndolo en amoníaco. Como en el caso de la hidrodesulfurización, la hidrodensitrificación depende fundamentalmente de la actividad del catalizador y de la presión parcial del hidrógeno. La hidrodesnitrificación requiere condiciones más severas que las de hidrodesulfurización. En consecuencia la hidrodesnitrificación en los reactores de hidrodesintegración catalítica es menor que la hidrodesulfurización.

Los compuestos de nitrógeno encontrados en los efluentes de los reactores de la planta, tienen diferentes formas. Los siguientes, son dos tipos de componentes encontrados en las fracciones intermedias.



Como se puede observar la cantidad de hidrógeno requerida para remover cierta cantidad de nitrógeno, depende del tipo de compuesto.

El ácido sulfhídrico y el amoníaco, que son productos de la hidrogenación reaccionan posteriormente para formar sulfuro de amonio. La inyección de agua se usa en el proceso con el objeto de solubilizar ese agente potencial de ensuciamiento y taponamiento de líneas.



3.3.4 Bases de Diseño

La unidad de hidrodeseintegración catalítica esta diseñada para dos casos y ambos pueden tener una conversión del material a 565°C (1050°F) del 57.4% en volumen. En el caso base, el corte de gasóleo de 343° - 565°C (1050°F) es recirculado hasta agotamiento. En el caso alterno este gasóleo es recirculado pero no hasta agotarlo, produciendo algo de gasóleo como producto.

Carga

Las cargas de diseño a la unidad son:

	°API	Base	Alterno
Extracto de aceite lubricante	14.3	3500	3500
Asfalto de plantas desasfaltadoras	1.4	7500	7500
Residuo de alto vacío	6.1	7500	14300
Total (Bls)		18500	25300

Contenido de la mezcla:

Azufre % w/w		3.76	4.01
Carbón Ramsbotton % w/w		24.3	21.5
Metales			
Níquel, ppm		46	51
Vanadio, ppm		206	210
ASTM cenizas por ciento en peso		0.008	
Viscosidad SFS a 99°C (210°F)		1287	
°API		5.4	5.7

Productos:

Los productos de la unidad de hidrodeseintegración catalítica son:

Producto	% v/v
Gasolina	13.02
Kerosina	6.36
Diesel	18.79
Gasóleos	23.51
Combustoleo Ecológico	38.32



3.3.5 Descripción del Proceso

Sección de reacción (diagrama 10D-A-1)

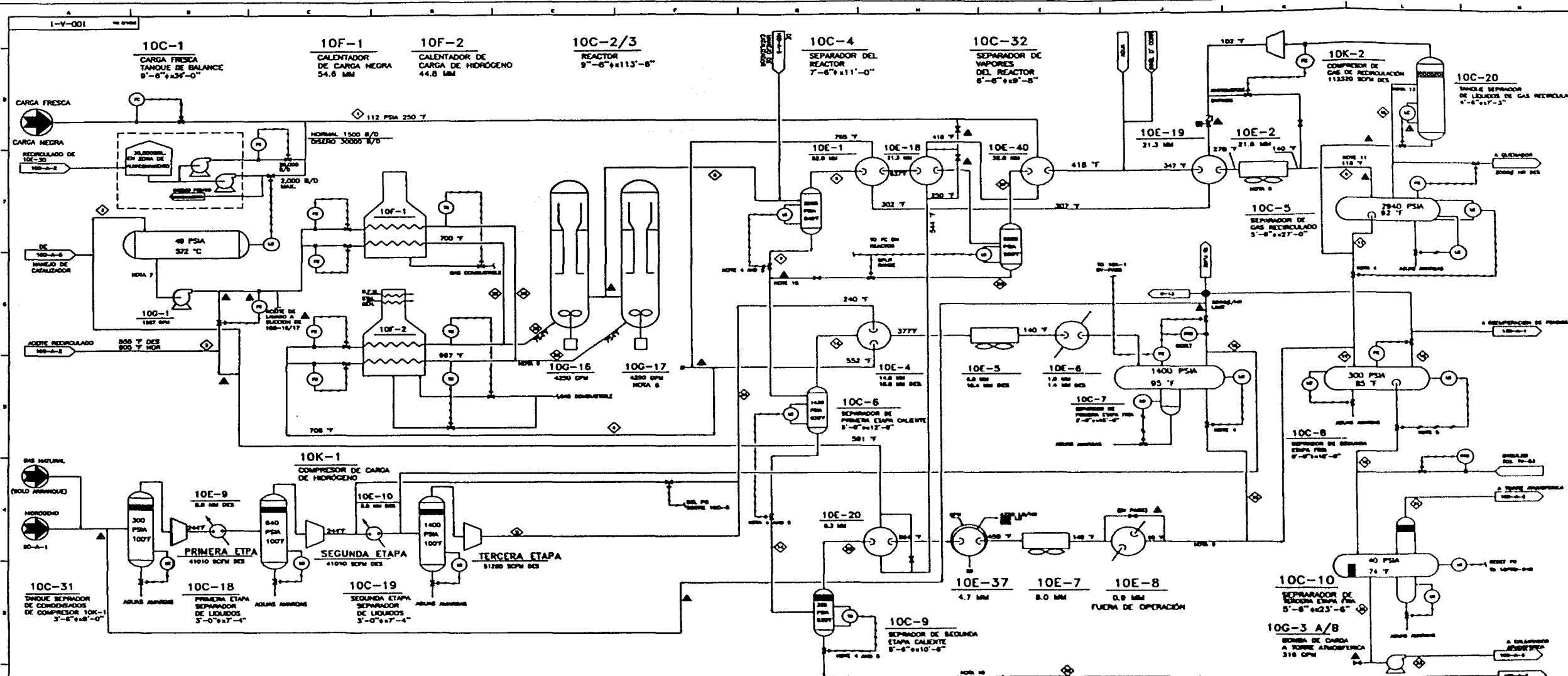
La carga fresca compuesta por residuos de alto vacío, asfaltos y extractos de aceites lubricantes entra a la unidad al rededor de 120°C con 10 Kg/cm². Dos controladores de flujo independientes, el 10FRC-14 y 10 FRC-169 proporcionan la mezcla extracto-asfalto y los fondos de alto vacío respectivamente. Las corrientes de carga fresca se mezclan antes de entrar al tren de cambiadores de calor que incluye:

Cambiador No.	Corrientes
10E-40 A y B	Efluente del reactor / Carga fresca
10E-18 Ay B	Precalentamiento primario de la carga a la sección de reacción.
10E-20	Precalentamiento secundario de la carga a la sección de reacción.

La carga sale de los precalentadores a 280-310°C y se junta con la corriente de destilado recirculado que viene de la sección de fracción y que trae una temperatura en el rango de 305-318°C. La corriente combinada descarga en el tambor de balance de carga fresca 10C-1.

La relación de destilado recirculado a carga fresca, no es crítica para el proceso, esta relación se mantiene normalmente constante por medio de un controlador de flujo. Para la operación cotidiana la relación debe de ser de 1.45 barriles de recirculación por barril de carga fresca, esta relación puede cambiarse si la carga fresca aumentara su viscosidad por la presencia de extractos de asfalto en mayor proporción. La relación de recirculación a carga fresca controla prácticamente la viscosidad del aceite de carga a los reactores.

La carga mixta es bombeada desde el tambor de balance de carga 10C-1 a los reactores 10C-2 y 10C-3 pasando por el calentador 10F-1. El calentador 10F-1 eleva hasta 350 °C (660°F) la temperatura de la carga aceitosa. Se cuenta con dos bombas de carga fresca; la 10G-1-A/B, una impulsada por motor y otra por turbina, la motobomba 10G-1-A es la que normalmente se tiene como relevo.



REVISIONES

REVISIÓN A

1. SE AGREGÓ LÍNEA DE ACEITE DE LUBRICO A LA SUCCIÓN DE LAS BOMBAS
2. SE ELIMINO CIRCULACIÓN DEL ACEITE ESPESORA Y BOMBAS 10C-30/A/B
3. SE CAMBIO EL SISTEMA DE MEDICIÓN DEL NIVEL DEL ACEITE DE CILINDRO A PRESIÓN DE 10C-5
4. SE AGREGÓ LA LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE GASOLEO PRECORTADO DEL TANQUE T-63 PARA COMPLETAR CARGA A LA TORRE ATMOSFERICA
5. SE ELIMINO LÍNEA DE ALIMENTACIÓN DE ACEITE PROVENIENTE DE LA UNIDAD 15
6. SE AGREGÓ PERIEN DE NIVEL EXTERNO AL VASO SEPARADOR DE LIQUIDOS DE GAS DE RECICLACIÓN 10C-20 Y SE ELIMINO EL EMPERADOR PARA DE GAS DE RECICLACIÓN 10C-4
7. SE ELIMINO LÍNEA DE RECUPERACIÓN DE VAPORES PROVENIENTES DEL SEPARADOR 10C-7 HACIA 10C-10/A/B
8. LAS LÍNEAS DE COLECTOR DEL REACTOR DE BOMBAS POR LA PUNTA SUPERIOR DEL ECUAPO
9. LA CORONA Y VENTOSA DE 10E-2 PASO DE 30.2 A 31.8 MM DE Ø EXTERNO DEBIDO A LAS DOS CORONAS QUE SE LE QUITARON

REVISIÓN B

SE CAMBIO EL APRECIO DE LA SALIDA DEL 10C-20

SE ELIMINO LAS BOMBAS 10C-27A/B

SE ELIMINARON LAS BOMBAS 10C-27A/B

NOTAS

NOTAS DE LA REVISIÓN A

1. 10C-10 SE AGREGÓ UN BOMBAS EN SU PUNTO A CIRCULAR EL MEDIO
2. LAS CORONAS DEL REACTOR DE LA BOLA DE BOMBAS EN GAS NO SON COINCIDENTES CON LAS VENTOSAS DEL REACTOR
3. ELIMINADO DE 2 VENTOSAS DE COMPRESOR TORNILLO EN PARALELO
4. UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
5. LAS BOMBAS DE RECUPERACIÓN DEL REACTOR (BOMBAS 10C-27A/B) NO SE ELIMINARON LAS BOMBAS 10C-27A/B
6. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
7. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
8. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
9. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
10. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
11. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
12. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
13. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
14. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15
15. SE AGREGÓ UN VASO DE ALMACÉN EN LA BOCALERA DE LA UNIDAD 15

SPZ	WPL	LBW	HE	HC	HSD	CL	CE	CD	CC	CC-2	CC-3	CC-4	CC-5	CC-6	CC-7	CC-8	CC-9	CC-10	CC-11	CC-12	CC-13	CC-14	CC-15	CC-16	CC-17	CC-18	CC-19	CC-20	CC-21	CC-22	CC-23	CC-24	CC-25	CC-26	CC-27	CC-28	CC-29	CC-30	CC-31	CC-32	CC-33	CC-34	CC-35	CC-36	CC-37	CC-38	CC-39	CC-40	CC-41	CC-42	CC-43	CC-44	CC-45	CC-46	CC-47	CC-48	CC-49	CC-50
1000	2500	4500	1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000	21000	22000	23000	24000	25000	26000	27000	28000	29000	30000	31000	32000	33000	34000	35000	36000	37000	38000	39000	40000	41000	42000	43000	44000	45000	46000	47000	48000	49000	50000						

ACTUALMENTE NO SE CUENTA EN LA OPERATIVA CON INFORMACIÓN PARA COMPLETAR UN BALANCE DE MATERIA CON EL FORMATO ORIGINAL PERO SE CONSIDERA QUE, EN PROMEDIO, DE JUNIO A NOVIEMBRE DE 1996 EL BALANCE GLOBAL DE LA PLANTA ES EL SIGUIENTE, CON UNA TEMPERATURA DE 420-425°C EN LOS REACTORES

ALIMENTACIONES			PRODUCTOS		
CORRIENTE	FLUJO	UNIDADES	CORRIENTE	FLUJO	UNIDADES
ACEITE CICLICO LIQUIDO	631.8	BPD	GASOLINA HIDROPRESURIZADO	1899	BPD
GASOLEOS DE VASO	1589.0	BPD	KEROSENA Y HIDRO DESINT. HIDRORES	320	BPD
RESIDUO DE PREPARADORA DE CARGA	18226.0	BPD	GASOLEOS LIGEROS HIDRO. DE RES	3141	BPD
TECHOL 80 TRAT CON AROILLA	28.6	BPD	GASOLEOS PESADO HIDRO. DE RES	1241	BPD
HIDROGENO	478356	MGSD	RESIDUO HIDRO RESIDUOS	6795	BPD
			GAS AMARILLO RESIDUOS	180968	MGSD

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE QUÍMICA CAROL E. LAB. 200

ANÁLISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA DE HIDRODESINTERGRACIÓN CATALÍTICA

TÍTULO DEL INFORME: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SECCIÓN DE REACCIÓN

FECHA DE ELABORACIÓN: 100-A-1

FECHA DE IMPRESIÓN: PAG 46

FECHA DE EJECUCIÓN: AGOSTO DEL 2001



Justamente antes de entrar a los reactores, la carga de aceite caliente se mezcla con una corriente de hidrógeno que ha sido previamente calentada a 570°C (1060°F) en su calentador independiente 10F-2.

En los reactores se lleva a cabo la reacción en una atmósfera rica en hidrógeno a 210 Kg/cm² (3000 psig) y 400°C (754°F).

El hidrógeno de alimentación es proporcionado a la unidad a 16 Kg/cm² (288 psig) por otra planta. El gas de alimentación está compuesto por 95% de hidrógeno y se comprime hasta la presión de operación del reactor 210 Kg/cm² (3000 psig) con los compresores 10K-1A/B; posteriormente se precalienta a 290°C (550°F) por intercambio de calor contra vapores del separador caliente de primer paso 10C-6. El gas de alimentación se mezcla con gas de recirculación formando ambos el gas de carga a los reactores.

El gas de recirculación se separa del efluente producto de los reactores, normalmente contiene 70% de hidrógeno. El gas se calienta hasta 407°C (765°F) al pasar a través de 2 cambiadores el 10E-19 (enfriador primario de recirculación de hidrógeno) y el 10E-1, cambiador de alta presión de gas recirculado.

Los reactores son del tipo de cama agitada en los cuales las partículas de catalizador se mantienen en movimiento caótico por una recirculación interna de la fase líquida. Cada reactor tiene una bomba ebuladora insertada en el fondo, con un motor externo que la impulsa.

Las succiones de las bombas ebuladoras 10G-16 y 10G-17 son bajantes internas con una copa ensanchada en el domo de los reactores. El aceite libre de catalizador se colecta en las bajantes y se mantiene en recirculación con las bombas internas. Las bombas están provistas de un control de velocidad variable de manera que la agitación puede ser controlada con variaciones en las condiciones de operación. La agitación de la cama de catalizador también está afectada por las corrientes de carga que entran en los fondos de los reactores.



En estas condiciones, la combinación de la carga a los reactores y el aceite recirculado internamente desarrollan una condición turbulenta que mantiene las partículas de catalizador en movimiento caótico.

Las reacciones catalíticas que se efectúan en los reactores incluyen:

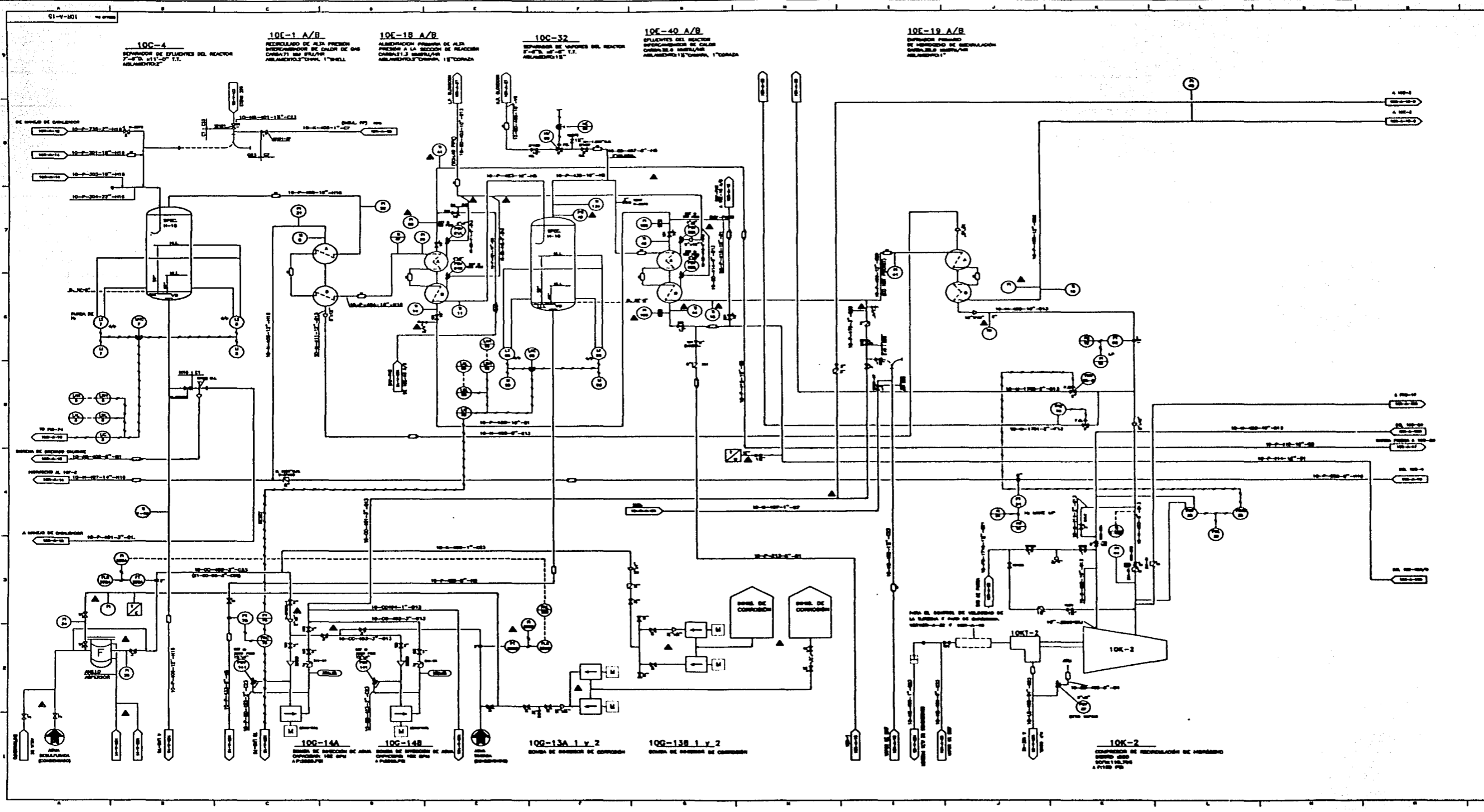
- a) *Desulfurización*
- b) *Hidrogenación*
- c) *Desnitrificación*

Estas son reacciones exotérmicas y generan calor dentro de los reactores. El craqueo que se lleva a cabo es enteramente térmico. Las temperaturas del reactor deberán ser absolutamente uniformes sin ningún gradiente de temperatura entre el domo y el fondo, esto se logra por la condición turbulenta dentro de los reactores. Normalmente los reactores están a 450°C (840°F).

El efluente de los reactores descarga en el separador 10C-4 sin haberse enfriado. Es aquí donde se lleva a cabo la primera separación entre vapores y líquido. Dado que no hay enfriamiento entre los reactores y el separador, el nivel del líquido es mantenido intencionalmente bajo para reducir el "tiempo de residencia" a temperatura elevada. Un tiempo prolongado a alta temperatura favorece la polimerización y con esto el ensuciamiento del equipo. El separador del reactor está a 210 Kg/cm² (3000 psig), que es prácticamente la misma presión de los reactores.

El vapor del separador del reactor es parcialmente enfriado por intercambio de calor contra recirculación de hidrógeno en el cambiador 10E-1 y contra carga fresca en el cambiador 10E-18. La temperatura se baja a 288°C (550°F) y se separan el líquido condensado y el vapor en el separador 10C-32.

Los vapores del reactor son posteriormente enfriados a 33°C (92°F) por los intercambiadores de calor 10E-40, 10E-19, 10E-2 antes de entrar al separador de gas de recirculación 10C-5. Aquí, se condensa una cantidad adicional de hidrocarburos y se separa de la corriente gaseosa. Aquí ya los vapores están constituidos en un 70% por hidrógeno y contienen solamente pequeñas cantidades de hidrocarburos más pesados que el metano. La mayoría de estos vapores es recirculado a los reactores con el compresor de recirculación 10K-2 (ver diagramas 10R-A-15A y 10R-A-15B).



REVISIONES

REVISIÓN ▲

SE ELIMINÓ LO SIGUIENTE:

- EQUMPOS EL 10C-1, 10C-2, 10C-3, 10C-4, 10C-5, 10C-6, 10C-7, 10C-8, 10C-9, 10C-10, 10C-11, 10C-12, 10C-13, 10C-14, 10C-15, 10C-16, 10C-17, 10C-18, 10C-19, 10C-20, 10C-21, 10C-22, 10C-23, 10C-24, 10C-25, 10C-26, 10C-27, 10C-28, 10C-29, 10C-30, 10C-31, 10C-33, 10C-34, 10C-35, 10C-36, 10C-37, 10C-38, 10C-39, 10C-40, 10C-41, 10C-42, 10C-43, 10C-44, 10C-45, 10C-46, 10C-47, 10C-48, 10C-49, 10C-50, 10C-51, 10C-52, 10C-53, 10C-54, 10C-55, 10C-56, 10C-57, 10C-58, 10C-59, 10C-60, 10C-61, 10C-62, 10C-63, 10C-64, 10C-65, 10C-66, 10C-67, 10C-68, 10C-69, 10C-70, 10C-71, 10C-72, 10C-73, 10C-74, 10C-75, 10C-76, 10C-77, 10C-78, 10C-79, 10C-80, 10C-81, 10C-82, 10C-83, 10C-84, 10C-85, 10C-86, 10C-87, 10C-88, 10C-89, 10C-90, 10C-91, 10C-92, 10C-93, 10C-94, 10C-95, 10C-96, 10C-97, 10C-98, 10C-99, 10C-100

SE AGREGÓ LO SIGUIENTE:

- EQUMPOS EL 10K-1, 10K-2, 10K-3, 10K-4, 10K-5, 10K-6, 10K-7, 10K-8, 10K-9, 10K-10, 10K-11, 10K-12, 10K-13, 10K-14, 10K-15, 10K-16, 10K-17, 10K-18, 10K-19, 10K-20, 10K-21, 10K-22, 10K-23, 10K-24, 10K-25, 10K-26, 10K-27, 10K-28, 10K-29, 10K-30, 10K-31, 10K-32, 10K-33, 10K-34, 10K-35, 10K-36, 10K-37, 10K-38, 10K-39, 10K-40, 10K-41, 10K-42, 10K-43, 10K-44, 10K-45, 10K-46, 10K-47, 10K-48, 10K-49, 10K-50, 10K-51, 10K-52, 10K-53, 10K-54, 10K-55, 10K-56, 10K-57, 10K-58, 10K-59, 10K-60, 10K-61, 10K-62, 10K-63, 10K-64, 10K-65, 10K-66, 10K-67, 10K-68, 10K-69, 10K-70, 10K-71, 10K-72, 10K-73, 10K-74, 10K-75, 10K-76, 10K-77, 10K-78, 10K-79, 10K-80, 10K-81, 10K-82, 10K-83, 10K-84, 10K-85, 10K-86, 10K-87, 10K-88, 10K-89, 10K-90, 10K-91, 10K-92, 10K-93, 10K-94, 10K-95, 10K-96, 10K-97, 10K-98, 10K-99, 10K-100

ANEXO DE REVISIONES EN LA PLANTA DE REACTOR

REVISIÓN: 10K-13A FECHA: 17/12/2001 AUTORIZADO: PAZ	REVISIÓN: 10K-13A FECHA: 17/12/2001 AUTORIZADO: PAZ
--	--



El líquido del separador del reactor 10C-4 pasa al separador del primer paso caliente 10C-6 que se encuentra a 100 Kg/cm^2 (1420 psig) y 447°C (836°F). Debido a esta violenta reducción de presión, se falsea una gran cantidad de vapores que salen del separador y van al separador del primer paso frío 10C-7 que se encuentra a 98 Kg/cm^2 , en el camino al 10C-7 los vapores del 10C-6 se enfrían a 35°C (95°F) con los intercambiadores de calor 10E-4, 10E-5, 10E-6.

El líquido acumulado en el 10C-6 se envía al separador de segundo paso caliente 10C-9. En este se realiza un flash ya que se encuentra a 22.7 Kg/cm^2 (323 psig). Los vapores del 10C-9 fluyen al separador de segundo paso frío 10C-8 que se encuentra a 20.2 Kg/cm^2 (288 psig). Este vapor se enfría a 30°C (85°F) en el trayecto al 10C-8. El líquido acumulado en el separador del segundo paso caliente 10C-9 se va como carga a la sección de fracción, descargando en el 10C-11 agotador de carga a la torre de vacío.

Los hidrocarburos líquidos condensados y acumulados en el separador de vapores del reactor 10C-32 son normalmente retornados a los reactores con la bomba de recirculación interna de aceite 10G-27. Como una alternativa, este líquido puede descargarse en el separador del segundo paso caliente 10C-6.

Los hidrocarburos líquidos que se acumulen en el separador del primer paso frío 10C-7 y en el separador del gas de recirculación 10C-5 se envían al separador de segundo paso frío 10C-8 en donde se flashea una cantidad de vapores. El líquido que se asienta en el 10C-8 se envía al separador de tercer paso frío 10C-10 y de ahí a la torre atmosférica 10C-12 en la sección de fracción.

El separador del tercer paso frío 10C-10 opera a 2 Kg/cm^2 (28 psig), semejante a la del sistema de vapores de la torre atmosférica. El vapor de este separador se junta con los vapores de la torre atmosférica y juntos van como carga a una unidad recuperadora de vapores (ubicada fuera de la planta).

Existe un sistema de lavado con agua con objeto de evitar ensuciamiento en la terminal fría en el tren de intercambio de calor de los vapores del reactor; se puede utilizar agua del agotador de aguas amargas de otra planta para inyectarse a la línea de vapores del reactor antes de entrar al cambiador 10E-19. El agua disuelve el sulfuro de amonio que es un producto secundario de la reacción y evita el



taponamiento de soloaires y equipo relacionado. El inhibidor de corrosión se añade al agua de inyección antes de bombearse a la corriente de proceso.

El agua se separa de la corriente de vapor en el separador de gas de recirculación 10C-5 en donde se drena y descarga al agotador de aguas amargas de otra planta. También se drena agua a los separadores del segundo y tercer pasos fríos 10C-8 y 10C-10, respectivamente, y se envía al agotador de aguas amargas.

Una inyección adicional de agua de lavado se efectúa antes de entrar al 10E-5, la que a su vez es drenada en los recipientes 10C-7 y 10C-19. La formación de un sulfuro de amonio en este punto se considera improbable así que el lavado con agua no deberá realizarse excepto si fuera necesario.

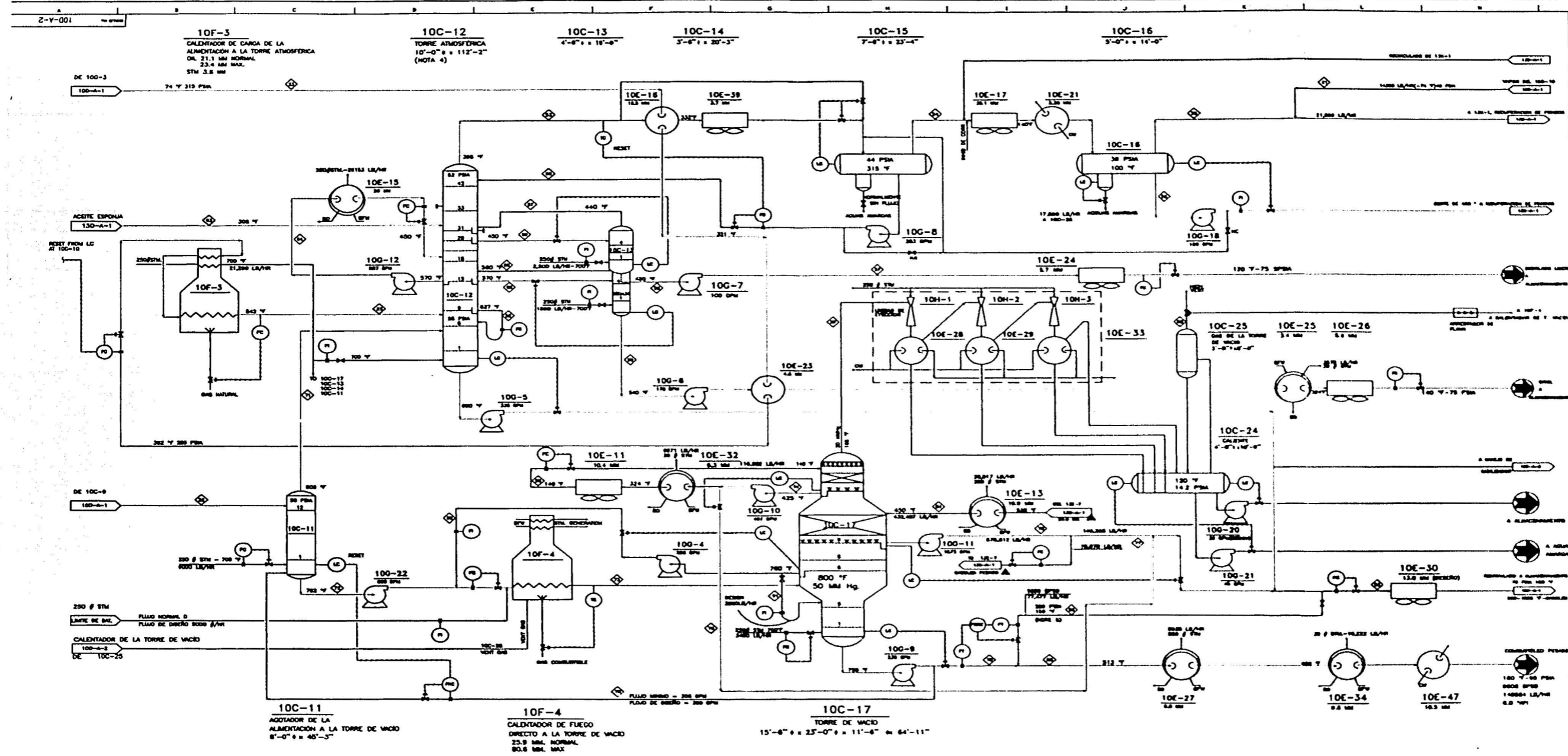
Sección de fracción (diagrama 10D-A-2)

La sección de fracción incluye la torre de vacío 10C-17, el agotador de carga a la torre de vacío 10C-11 y la torre atmosférica 10C-12. Dos agotadores laterales 10C-13 y 10C-14 están incluidos en la torre atmosférica.

La torre atmosférica 10C-12 opera con una presión en el domo de 2.8 Kg/cm^2 (40psig) controlada en el tambor separador de la carga de vapores al compresor de vapores de la unidad recuperadora de ligeros.

La carga a la torre atmosférica incluye el vapor del domo del agotador de carga a la torre de vacío 10C-11 y el líquido acumulado en el separador del tercer paso frío 10C-10, este líquido es bombeado a la torre atmosférica a través del calentador de carga 10F-3 donde se calientan a aproximadamente 285°C (545°F). El vapor del agotador de la carga a la torre de vacío esta formado por vapor de agua mezclado con aceite destilado pesado. Esta corriente de carga entra a la torre atmosférica en el espacio de vapores por encima del plato número 6 mientras, la corriente de carga más ligera procedente del calentador entra a la zona de flash entre los platos 8 y 9.

El líquido producto del domo de la torre atmosférica es un corte de 205°C (400°F) incluyendo hidrocarburos más ligeros.



NOTAS
 1) MM = MILLONES DE BTU/HR
 2) LAS CARGAS MOSTRADAS SON EN CONDICIONES NORMALES
 3) GPM MOSTRADOS ESTAN EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACION

REVISIÓN \blacktriangle
 SE CAMBIO EL ARREGLO DE LA ENTRADA DE INHIBIDOR DE CORROSION AL SOLDAR 10E-7 DE LA CORRIENTE 85
 SE ELIMINO LAS CORRIENTE 6,2 ACETILE ESPONJA 78 CORTE 650-105477 REINCULADO

COMPONENTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
ALIMENTACION A TORRE ATMOSFERICA	32,875	36,750	42,540	47,820	52,500	56,580	60,060	63,040	65,520	67,500	69,000	70,020	70,560	71,620	72,700	73,780	74,860	75,940	77,020	78,100	79,180	80,260	81,340	82,420	83,500	84,580	85,660	86,740	87,820	88,900	90,000	91,100	92,200	93,300	94,400	95,500	96,600	97,700	98,800	99,900	100,000	100,100	100,200	100,300	100,400	100,500	100,600	100,700	100,800	100,900	101,000	101,100	101,200	101,300	101,400	101,500	101,600	101,700	101,800	101,900	102,000	102,100	102,200	102,300	102,400	102,500	102,600	102,700	102,800	102,900	103,000	103,100	103,200	103,300	103,400	103,500	103,600	103,700	103,800	103,900	104,000	104,100	104,200	104,300	104,400	104,500	104,600	104,700	104,800	104,900	105,000	105,100	105,200	105,300	105,400	105,500	105,600	105,700	105,800	105,900	106,000	106,100	106,200	106,300	106,400	106,500	106,600	106,700	106,800	106,900	107,000	107,100	107,200	107,300	107,400	107,500	107,600	107,700	107,800	107,900	108,000	108,100	108,200	108,300	108,400	108,500	108,600	108,700	108,800	108,900	109,000	109,100	109,200	109,300	109,400	109,500	109,600	109,700	109,800	109,900	110,000	110,100	110,200	110,300	110,400	110,500	110,600	110,700	110,800	110,900	111,000	111,100	111,200	111,300	111,400	111,500	111,600	111,700	111,800	111,900	112,000	112,100	112,200	112,300	112,400	112,500	112,600	112,700	112,800	112,900	113,000	113,100	113,200	113,300	113,400	113,500	113,600	113,700	113,800	113,900	114,000	114,100	114,200	114,300	114,400	114,500	114,600	114,700	114,800	114,900	115,000	115,100	115,200	115,300	115,400	115,500	115,600	115,700	115,800	115,900	116,000	116,100	116,200	116,300	116,400	116,500	116,600	116,700	116,800	116,900	117,000	117,100	117,200	117,300	117,400	117,500	117,600	117,700	117,800	117,900	118,000	118,100	118,200	118,300	118,400	118,500	118,600	118,700	118,800	118,900	119,000	119,100	119,200	119,300	119,400	119,500	119,600	119,700	119,800	119,900	120,000	120,100	120,200	120,300	120,400	120,500	120,600	120,700	120,800	120,900	121,000	121,100	121,200	121,300	121,400	121,500	121,600	121,700	121,800	121,900	122,000	122,100	122,200	122,300	122,400	122,500	122,600	122,700	122,800	122,900	123,000	123,100	123,200	123,300	123,400	123,500	123,600	123,700	123,800	123,900	124,000	124,100	124,200	124,300	124,400	124,500	124,600	124,700	124,800	124,900	125,000	125,100	125,200	125,300	125,400	125,500	125,600	125,700	125,800	125,900	126,000	126,100	126,200	126,300	126,400	126,500	126,600	126,700	126,800	126,900	127,000	127,100	127,200	127,300	127,400	127,500	127,600	127,700	127,800	127,900	128,000	128,100	128,200	128,300	128,400	128,500	128,600	128,700	128,800	128,900	129,000	129,100	129,200	129,300	129,400	129,500	129,600	129,700	129,800	129,900	130,000	130,100	130,200	130,300	130,400	130,500	130,600	130,700	130,800	130,900	131,000	131,100	131,200	131,300	131,400	131,500	131,600	131,700	131,800	131,900	132,000	132,100	132,200	132,300	132,400	132,500	132,600	132,700	132,800	132,900	133,000	133,100	133,200	133,300	133,400	133,500	133,600	133,700	133,800	133,900	134,000	134,100	134,200	134,300	134,400	134,500	134,600	134,700	134,800	134,900	135,000	135,100	135,200	135,300	135,400	135,500	135,600	135,700	135,800	135,900	136,000	136,100	136,200	136,300	136,400	136,500	136,600	136,700	136,800	136,900	137,000	137,100	137,200	137,300	137,400	137,500	137,600	137,700	137,800	137,900	138,000	138,100	138,200	138,300	138,400	138,500	138,600	138,700	138,800	138,900	139,000	139,100	139,200	139,300	139,400	139,500	139,600	139,700	139,800	139,900	140,000	140,100	140,200	140,300	140,400	140,500	140,600	140,700	140,800	140,900	141,000	141,100	141,200	141,300	141,400	141,500	141,600	141,700	141,800	141,900	142,000	142,100	142,200	142,300	142,400	142,500	142,600	142,700	142,800	142,900	143,000	143,100	143,200	143,300	143,400	143,500	143,600	143,700	143,800	143,900	144,000	144,100	144,200	144,300	144,400	144,500	144,600	144,700	144,800	144,900	145,000	145,100	145,200	145,300	145,400	145,500	145,600	145,700	145,800	145,900	146,000	146,100	146,200	146,300	146,400	146,500	146,600	146,700	146,800	146,900	147,000	147,100	147,200	147,300	147,400	147,500	147,600	147,700	147,800	147,900	148,000	148,100	148,200	148,300	148,400	148,500	148,600	148,700	148,800	148,900	149,000	149,100	149,200	149,300	149,400	149,500	149,600	149,700	149,800	149,900	150,000	150,100	150,200	150,300	150,400	150,500	150,600	150,700	150,800	150,900	151,000	151,100	151,200	151,300	151,400	151,500	151,600	151,700	151,800	151,900	152,000	152,100	152,200	152,300	152,400	152,500	152,600	152,700	152,800	152,900	153,000	153,100	153,200	153,300	153,400	153,500	153,600	153,700	153,800	153,900	154,000	154,100	154,200	154,300	154,400	154,500	154,600	154,700	154,800	154,900	155,000	155,100	155,200	155,300	155,400	155,500	155,600	155,700	155,800	155,900	156,000	156,100	156,200	156,300	156,400	156,500	156,600	156,700	156,800	156,900	157,000	157,100	157,200	157,300	157,400	157,500	157,600	157,700	157,800	157,900	158,000	158,100	158,200	158,300	158,400	158,500	158,600	158,700	158,800	158,900	159,000	159,100	159,200	159,300	159,400	159,500	159,600	159,700	159,800	159,900	160,000	160,100	160,200	160,300	160,400	160,500	160,600	160,700	160,800	160,900	161,000	161,100	161,200	161,300	161,400	161,500	161,600	161,700	161,800	161,900	162,000	162,100	162,200	162,300	162,400	162,500	162,600	162,700	162,800	162,900	163,000	163,100	163,200	163,300	163,400	163,500	163,600	163,700	163,800	163,900	164,000	164,100	164,200	164,300	164,400	164,500	164,600	164,700	164,800	164,900	165,000	165,100	165,200	165,300	165,400	165,500	165,600	165,700	165,800	165,900	166,000	166,100	166,200	166,300	166,400	166,500	166,600	166,700	166,800	166,900	167,000	167,100	167,200	167,300	167,400	167,500	167,600	167,700	167,800	167,900	168,000	168,100	168,200	168,300	168,400	168,500	168,600	168,700	168,800	168,900	169,000	169,100	169,200	169,300	169,400	169,500	169,600	169,700	169,800	169,900	170,000	170,100	170,200	170,300	170,400	170,500	170,600	170,700	170,800	170,900	171,000	171,100	171,200	171,300	171,400	171,500	171,600	171,700	171,800	171,900	172,000	172,100	172,200	172,300	172,400	172,500	172,600	172,700	172,800	172,900	173,000	173,100	173,200	173,300	173,400	173,500	173,600	173,700	173,800	173,900	174,000	174,100	174,200	174,300	174,400	174,500	174,600	174,700	174,800	174,900	175,000	175,100	175,200	175,300	175,400	175,500	175,600	175,700	175,800	175,900	176,000	176,100	176,200	176,300	176,400	176,500	176,600	176,700	176,800	176,900	177,000	177,100	177,200	177,300	177,400	177,500	177,600	177,700	177,800	177,900	178,000	178,100	178,200	178,300	178,400	178,500	178,600	178,700	178,800	178,900	179,000	179,100	179,200	179,300	179,400	179,500	179,600	179,700	179,800	179,900	180,000	180,100	180,200	180,300	180,400	180,500	180,600	180,700	180,800	180,900	181,000	181,100	181,200	181,300	181,400	181,500	181,600	181,700	181,800	181,900	182,000	182,100	182,200	182,300	182,400	182,500	182,600	182,700	182,800	182,900	183,000	183,100	183,200	183,300	183,400	183,500	183,600	183,700	183,800	183,900	184,000	184,100	184,200	184,300	184,400	184,500	184,600	184,700	184,800	184,900	185,000	185,100	185,200	185,300	185,400	185,500	185,600	185,700	185,800	185,900	186,000	186,100	186,200	186,300	186,400	186,500	186,600	186,700	186,800	186,900	187,000	187,100	187,200	187,300	187,400	187,500	187,600	187,700	187,800	187,900	188,000	188,100	188,200	188,300	188,400	188,500	188,600	188,700	188,800	188,900	189,000	189,100	189,200	189,300	189,400	189,500	189,600	189,700	189,800



Este material va a la unidad recuperadora de ligeros para estabilizarse y debutanizarse. El vapor del domo también va a la unidad recuperadora de ligeros.

Un corte secundario de destilado ligero. También se obtiene, teniendo un rango de ebullición de 200 a 260°C (400°F a 500°F). Este producto se trasiega a los tanques de almacenamiento de destilado ligero fuera de la planta.

También se produce un destilado pesado con punto de ebullición de 260 a 340°C (500 a 650°F). Este material también se trasiega a tanques fuera de la planta.

El material con punto de ebullición superior a los 340°C (650°F) forma el producto líquido del fondo. Este es un material destilado, libre de residuo y se junta con los gasóleos ligero y pesado producidos en la torre de alto vacío. Normalmente este material es reducido a la sección de reacción y no se considera como un producto.

El agotador de carga a torre de alto vacío 10C-11 recibe carga en el plato del domo procedente del 10C-9, separador del segundo paso caliente, a una temperatura de cerca de 440°C (825°F). Se produce un flash dado que el agotador se encuentra a 3.1 Kg/cm² (44psig) y el separador 10C-9 esta a 22.7 Kg/cm² (323 psig).

Se inyecta vapor de arrastre por abajo del plato del fondo de la columna, el cual produce un vaporizado adicional de hidrocarburos.

Los vapores del flasheo y el vapor de agotamiento entran a la torre atmosférica como una de las corrientes de carga a la columna.

El líquido del fondo del agotador es la carga a la torre de alto vacío. El control de nivel del fondo del agotador se logra mediante la recirculación de una corriente de los fondos de la torre de vacío a los fondos del agotador.



La torre de vacío 10C-17 opera, en la zona de flash, a 426°C (800°F) y 50 mmHg de presión absoluta. La columna produce un gasóleo ligero de vacío, un gasóleo pesado de vacío a 565°C (1050°F) y fondos de vacío. Para obtener un aceite combustible pesado satisfactorio, se le agrega aceite cíclico ligero a los fondos de la torre de vacío.

El gasóleo ligero y pesado son normalmente combinados y recirculados al tanque de balance de carga 10C-1. Algo del gasóleo se destina a producto neto. La línea del cabezal de gasóleo esta arreglada para trasegar preferentemente el gasóleo más ligero hacia tanques fuera de la unidad y recircular el más pesado al tanque de balance de carga.

El vacío es mantenido por un sistema de eyectores de tres pasos. Cada paso tiene dos eyectores, uno diseñado para dos tercios de la capacidad y el otro para un tercio de la capacidad de diseño. El gas no condensable eliminado por el sistema de eyectores es venteado, ya sea al hogar del calentador de carga de la torre de vacío o a la atmósfera.

3.4 Análisis HazOp

A continuación se presentan algunas de las actas resultantes del análisis HazOp y que contienen la información obtenida durante las sesiones. Dicho análisis se realizó con un grupo multidisciplinario de la Unidad Hidrodesintegradora Catalítica, utilizando los Diagramas de Tubería e Instrumentación pertinentes, los diagramas que se requirieron de apoyo están indicados en dichas actas.

Estas actas contiene la información recogida para tres equipos que son:

El Reactor 10C-2/3

El Compresor de recirculación 10K-2

El Tanque de separación 10C-5

Análisis HazOp

Planta de Hidrodesintegración Catalítica

Información recogida en las sesiones

Nodos:

Reactores 10C-2/3

Compresor de recirculación de H₂ (10K-2)

Tanque de separación 10C-5



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001.

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más presión

LOI:

LOS: 210 Kg/cm²

LSI:

LSS: 210 Kg/cm²

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
90.	1. Enfriamiento de los reactores.	1. Descontrol operacional. 2. Pérdida de producción.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. El PIC-11 y el PRC-93.	1. Mejorar el sistema de control de temperatura de los reactores y de reposición del catalizador. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alarma sonora por alta presión en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual. 4. Instalar alarma por alta presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos. 5. Modernizar el lazo completo del PIC-11 y PRC-93.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001.

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más presión			LOI:			LOS: 210 Kg/cm ²	LSI:	LSS: 210 Kg/cm ²	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
91.	2. Mal funcionamiento del LIC-8 (cierre).	1. Descontrol operacional. 2. Pérdida de producción.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. La LAH-8. 2. El PIC-11 y PRC-93.	1. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 2. Instalar alarma sonora por alta presión en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual. 3. Instalar alarma por alta presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos. 4. Modemizar el lazo completo del PIC-11 y PRC-93.		A
92.	3. Mal funcionamiento del PRC-93 y del PIC-11 (que se queden cerradas las válvulas).	1. Descontrol operacional.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Ninguna.	1. Instalar alarma por alta presión en el PR-9 y 10. 2. Instalar alarma sonora por alta presión en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual. 3. Instalar alarma por alta presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos.		A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más presión			LOI:			LOS: 210 Kg/cm ²	LSI:	LSS: 210 Kg/cm ²	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
93.	4. Mal funcionamiento del LIC-66 (que cierre la valvula FV-75).	1. Descontrol operacional. 2. Pérdida de producción.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. La LAH-66. 2. El PIC-11 y PRC-93.	1. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 2. Instalar alarma sonora por alta presión en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual. 3. Instalar alarma por alta presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos. 4. Modernizar el lazo completo del PIC-11 y PRC-93.	B	

Desviación: Menos flujo de aceite			LOI: 3.5 (Indicación)			LOS: 4.3	LSI: 3.2	LSS: 5.0	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
94.	1. Mal funcionamiento del FIC-156 a 159 (cierren) y FIC-1/81 (abran).	1. Mayor tiempo de residencia y alto consumo de hidrógeno. 2. Promueve la formación de carbón.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. La FAL-156 a 159.	1. Modernizar el lazo completo del FIC-156 a 159 y FIC-1 y 81. 2. Mejorar el sistema de control de temperatura a los reactores 10C-2 y 10C-3.	B	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Menos flujo de aceite

LOI: 3.5 (Indicación)

LOS: 4.3

LSI: 3.2

LSS: 5.0

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
95.	2. Represionamiento del sistema de alta.	1. Descontrol operacional. 2. Mayor tiempo de residencia y alto consumo de hidrógeno. 3. Promueve la formación de carbón.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. La FAL-156 a 159.	1. Mejorar el sistema de control de temperatura a los reactores 10C-2 y 10C-3.	B

Desviación: Más nivel de ebulación

LOI: 2086 mm abajo embudo colector

LOS: 864 mm abajo embudo colector

LSI: 2086 mm abajo embudo colector

LSS: 864 mm abajo embudo colector

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
96.	1. Depresionamiento en el sistema de alta presión.	1. Flujo de catalizador o catalizador en la succión de la bomba amarrada. 2. Daños internos a los reactores.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAH-5-A y 6-A. 3. Protección por alto nivel, para bajar revoluciones a la bomba ebuladora (PRO). 4. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electronicos. 4. Instalar alarma sonora por alto nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001.

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más nivel de ebulación

LOI: 2086 mm abajo embudo colector

LOS: 864 mm abajo embudo colector

LSI: 2086 mm abajo embudo colector

LSS: 864 mm abajo embudo colector

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
97.	2. Mayor carga líquida.	1. Flujo de catalizador o catalizador en la succión de la bomba amarrada. 2. Daños internos a los reactores.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAH-5-A y 6-A. 3. Protección por alto nivel , para bajar revoluciones a la bomba ebuladora. 4. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electronicos. 4. Instalar alarma sonora por alto nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual.	A
98.	3. Mas flujo de gas.	1. Flujo de catalizador o catalizador en la succión de la bomba amarrada. 2. Daños internos a los reactores.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAH-5-A y 6-A. 3. Protección por alto nivel , para bajar revoluciones a la bomba ebuladora. 4. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electrónicos. 4. Instalar alarma sonora por alto nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más nivel de ebulación

LOI: 2086 mm abajo embudo colector

LOS: 864 mm abajo embudo colector

LSI: 2086 mm abajo embudo colector

LSS: 864 mm abajo embudo colector

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
99.	4. Mayor flujo (velocidad) de la bomba ebuladora.	1. Flujo de catalizador o catalizador en la succión de la bomba amarrada. 2. Daños internos a los reactores.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAH-5-A y 6-A. 3. Protección por alto nivel, para bajar revoluciones a la bomba ebuladora. 4. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electrónicos. 4. Instalar alarma sonora por alto nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Menos nivel de ebulación

LOI: 2086 mm abajo embudo colector

LOS: 864 mm abajo embudo colector

LSI: 2086 mm abajo embudo colector

LSS: 864 mm abajo embudo colector

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
100.	1. No/menor carga líquida.	1. Pérdida de ebulación. 2. Daños internos a los reactores	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAL-5-A y 6-A. 3. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electronicos. 4. Instalar alarma sonora por bajo nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual. 5. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Menos nivel de ebulación

LOI: 2086 mm abajo embudo colector

LOS: 864 mm abajo embudo colector

LSI: 2086 mm abajo embudo colector

LSS: 864 mm abajo embudo colector

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
101.	2. No/menos flujo de gas.	1. Pérdida de ebulación. 2. Daños internos a los reactores.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAL-5-A y 6-A. 3. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electrónicos 4. Instalar alarma sonora por bajo nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual.	A
102.	3. Menor flujo (velocidad) de la bomba ebulatora.	1. Pérdida de ebulación. 2. Daños internos a los reactores.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAL-5-A y 6-A. 3. Procedimientos de emergencia.	1. Implantar mas detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 2. Implantar la aplicación de control avanzado al control de nivel de ebulación. 3. Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electrónicos. 4. Instalar alarma sonora por bajo nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más flujo de gas de recirculación			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
103.	1. Más flujo en la FV-10/11.	1. Engasamiento de la bomba ebuladora y pérdida de ebulación. 2. Alto nivel de ebulación ocasionando que se amarre la bomba. 3. Daños internos a los reactores.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Los DI 5-A/B y 6-A/B. 2. Las DAH-5-A y 6-A. 3. Procedimientos de emergencia. 4. Protección por alto nivel, para bajar revoluciones a la bomba ebuladora. 5. Los amperímetros de la bombas ebuladoras. 6. Alarma por bajo amperaje.	1. Instalar alarma sonora por alto nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Implantar más detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3. 4. Modernizar el sistema de control del FIC-10/11.	A	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: No flujo de gas de recirculación

Escn	Causa	Consecuencias	LOI:			LOS: Protección	LSI:	LSS:	Clase
			F	G	R				
104.	1. Falla del compresor de recirculación 10K-2.	1. Pérdida de ebulación. 2. Formación de carbón. 3. Daños internos a los reactores. 4. Incremento de temperatura en el reactor. 5. Pérdida de producción.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Los PDT-4, 5, 13 y 14. 3. Los DI-5-A/B, DI-6 A/B. 4. Las DAL-5A/B y 6 A/B. 5. Los amperímetros de las bombas ebuladoras. 6. Procedimientos operacionales de emergencia.		1. Continuar dando el adiestramiento del procedimiento de pérdida de ebulación a los operadores. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alarma sonora por bajo nivel de ebulación en el sistema de adquisición de datos actual. 4. Modernizar la instrumentación del compresor 10K-2 y al sistema de aceite de sellos.	A

Desviación: Más flujo de aceite

Escn	Causa	Consecuencias	LOI:			LOS: Protección	LSI:	LSS:	Clase
			F	G	R				
105.	1. Más flujo através del FIC-156 a 159.	1. Menor tiempo de residencia. 2. Enfriamiento y menos conversión.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Ninguna.		1. Instalar alarmas por alto flujo a la salida del 10F-1. 2. Modernizar el lazo completo del FIC-156 a 159.	B



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más temperatura		LOI:			LOS: 449 °C	LSI:	LSS: 455 °C	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	
106.	1. Pérdida de ebulación en los reactores.	1. Se promueve la formación de carbón. 2. Daños internos a los reactores.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Los PDT-4, 5, 13 y 14. 3. Procedimientos operacionales de emergencia. 4. Las DAL-5A/B y DAL-6 A/B. 5. Los amperímetros de las bombas ebuladoras.	1. Continuar dando el adiestramiento del procedimiento de emergencia. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alarma sonora por bajo nivel de ebulación en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual. 4. Implantar más detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3.	A
107.	2. Obstrucción parcial del plato distribuidor.	1. Baja la eficiencia de contacto. 2. Se promueve la formación de carbón. 3. Daños internos a los reactores. 4. Alta delta de	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Los PDT-4, 5, 13 y 14. 3. Procedimientos operacionales de emergencia. 4. Los amperímetros de las bombas ebuladoras.	1. Modernizar el sistema del catalizador. 2. Modernizar la instrumentación medidora de presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3 e instalar alarmas por alta y baja presión diferencial. 3. Implantar más detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más temperatura		LOI:			LOS: 449 °C	LSI:	LSS: 455 °C	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	
108.	3. Presencia de CO2 en el hidrógeno.	1. Promoción de formación de carbón. 2. Baja presión parcial de hidrógeno. 3. Daños internos a los reactores.	5 (3)	1 (1)	5 (3)	1. Las TAH-4-5 y 5-5., 2. Alama por alto contenido de CO2, CO2 AH-1.	1. Asegurar que se tengan habilitadas las alamas CO2 AH-1. 2. Mantener la comunicación del personal de operación entre U9 y U10. 3. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 4. Instalar alama sonora por alta temperatura en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual.	C
109.	4. Mayor temperatura de carga mixta.	1. Promoción de formación de carbón. 2. Baja presión parcial de hidrógeno.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. El TRC-1, 3 y 4 (salida de calentadores). 2. Las TAH-3, 4, 31, 32, 33, 34. 3. Las TAH-4-5 y 5-5. 4. Alamas de TI-4-11 y 5-11.	1. Modernizar el sistema de control de temperatura a la salida del 10F-1 y 2. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alama sonora por alta temperatura en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual.	B



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso. Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001.

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Más temperatura			LOI:			LOS: 449 °C	LSI:	LSS: 455 °C	
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
110.	5. Alta reacción debido a los efectos combinados de calidad de la carga, alta presión parcial de hidrógeno y la actividad del catalizador.	1. Promoción de formación de carbón (debido a la alta conversión). 2. Descontrol operacional.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. Las TAH-4-5 y 5-5.	1. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 2. Instalar alarma sonora por alta temperatura en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual. 3. Modernizar el sistema de control de temperatura a la salida de los calentadores.	B	

Desviación: Menos presión			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
111.	1. Disminución en la pureza del hidrógeno.	1. Se promueve la formación de carbón.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Análisis de laboratorio. 2. La PDR-35.	1. Ninguna.	B	
112.	2. Mal funcionamiento del PRC-93 (abra).	1. Baja presión parcial de H2. 2. Se promueve la formación de carbón.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Ninguna.	1. Instalar alarma por baja presión en el PRC-93. 2. Modernizar el lazo completo del PRC-93.	B	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001.

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra.

Desviación: Menos presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
113.	3. Mal funcionamiento de la HV-58 (abra).	1. Baja presión parcial de H2.	4 (4)	1 (1)	4 (4)	1. Ninguna.	1. Instalar alarma por baja presión en el PRC-9 o 10.	B
114.	4. Mal funcionamiento del LIC-8 y/o LIC-66 (abran).	1. Baja presión parcial de H2. 2. Pérdida del sello líquido del 10C-4 y/o del 10C-32. 3. Arrastre de catalizador.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Las LAL-8 y 66.	1. Modernizar el lazo completo del LIC-8 y LIC-66.	B

Desviación: Menos flujo del gas de recirculación

LOI: 3.5 Indicación

LOS: 4.2 Indicación

LSI: 3.2 Indicación

LSS: 5.0 Indicación

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
115.	1. Que se abra la válvula antisurge 10FV-17.	1. Pérdida de ebulación. 2. Disminución de la presión parcial de H2 (producción de carbón). 3. Daños internos a los reactores. 4. Incremento de temperatura en el reactor. 5. Pérdida de producción.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Los DI-5-A/B, DI-6 A/B. 3. Las DAL-5A/B y 6 A/B. 4. Los amperímetros de la bombas ebuladoras.	1. Tener una señal redundante de flujo mínimo del 10 K-2. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alarma sonora por bajo nivel de ebulación, en el sistema de adquisición de datos actual. 4. Modernizar el sistema antisurge del compresor 10K-2.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Menos flujo del gas de recirculación			LOI: 3.5 Indicación			LOS: 4.2 Indicación		LSI: 3.2 Indicación		LSS: 5.0 Indicación	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección		Recomendación			
116.	2. Mal funcionamiento de los FIC-10 o 11 (cierren).	1. Pérdida de ebulación. 2. Disminución de la presión parcial de H ₂ . 3. Daños internos a los reactores. 4. Incremento de temperatura en el reactor. 5. Pérdida de producción.	4 (2)	2 (2)	7 (4)	1. Los PDT-4, 5, 13 y 14. 3. Procedimientos operacionales. 4. Los DR-5-A/B, DR-6 A/B. 5. Las DAL-5A/B y DAL-6 A/B. 6. Los amperímetros de la bombas ebuladoras. 7. El FRC-17. 8. Los FIC-10 o 11.		1. Modernizar el lazo completo del FIC-10 y 11.		B	

Desviación: No flujo de aceite			LOI:			LOS:		LSI:		LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección		Recomendación			
117.	1. Falla de la bomba 10G-1 A/B.	1. Pérdida de ebulación. 2. Promueve formación de carbón. 3. Daños internos a los reactores.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Procedimientos operacionales de emergencia.		1. Instalar alarma sonora en el sistema de adquisición de datos actual. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Habilitar los filtros del cabezal preferente para evitar que se dañe la bomba 10G-1 A/B.		A	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Menos temperatura

LOI:

LOS: 449 °C

LSI:

LSS: 455 °C

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
118.	1. En la salida del calentador 10F-2, menor temperatura en la corriente de hidrógeno.	1. Bajo craqueo.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. Ninguna.	1. Instalar alarma por baja temperatura en la salida del calentador 10F-2.	A
119.	2. En la salida del calentador 10F-1, menor temperatura en la corriente de aceite.	1. Bajo craqueo.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. Ninguna.	1. Instalar alarma por baja temperatura en la salida del calentador 10F-2.	A
120.	3. Baja actividad del catalizador.	1. Bajo craqueo.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. Ninguna.	1. Instalar alarma por baja temperatura en la salida del calentador 10F-2. 2. Mejorar la infraestructura del sistema de manejo del catalizador.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Pérdida de isotermicidad			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
121.	1. Pérdida de nivel de la cama de ebulación (por engasamiento de las ebuladoras).	1. Sobre calentamiento del reactor. 2. Reacción fuera de control.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Procedimientos operacionales de emergencia.	1. Instalar alarma sonora en el sistema de adquisición de datos actual. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alarma por contingencia en los reactores 10C-2 y 10C-3. 4. Modernizar la copa de succión de las ebuladoras, con separadores tipo ciclón.	A	
122.	2. Plato de distribución parcialmente bloqueado.	1. Sobre calentamiento del reactor. 2. Reacción fuera de control. 3. Daños internos a los reactores.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Procedimientos operacionales de emergencia.	1. Instalar alarma sonora en el sistema de adquisición de datos actual. 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Modernizar el plato distribuidor. 4. Instalar alarma por contingencia en los reactores 10C-2 y 10C-3. 5. Instalar alarmas por alta presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3.	A	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 18 y 19 de septiembre de 2001

Nodo: Reactor 10C-2/3

Diagramas: 10R-A-14C

Producto: Hidrógeno y carga negra

Desviación: Pérdida de isothermicidad

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
123.	3. Presencia de CO2 en la corriente de hidrógeno.	1. Sobrecalentamiento del reactor. 2. Reacción fuera de control. 3. Daños internos a los reactores.	5 (5)	4 (4)	10 (10)	1. Las TAH-4-5 y 5-5. 2. Procedimientos operacionales de emergencia. 3. Alarma CO2 AH-1 por alto contenido de CO2.	1. Instalar alarma sonora por pérdida de isothermicidad, en el sistema de adquisición de datos actual 2. Implantar el sistema de corte y depresurización de la planta. 3. Instalar alarma por contingencia en los reactores 10C-2 y 10C-3.	A



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Más nivel		LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	
124.	1. Mal funcionamiento del LIC-10 (cierre).	1. Mezcla de agua/hidrocarburos al 10C-8.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. El LI-10. 2. La LAH-12. 3. El LIC-10.	1. Instalar alarma por alto nivel en el LIC-10. 2. Modernizar el lazo completo del LIC-10. 3. Instalar en el cuarto de control las dos señales redundantes de nivel en el 10C-5. 4. Instalar alarma sonora por más nivel en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A
125.	2. Mal funcionamiento del LIC-12 (cierre).	1. Menos nivel en el 10C-8.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. La LAH-12. 2. Los LI-9, 11 y 12.	1. Modernizar el lazo completo del FIC-155. 2. Modernizar el LT-9, 11 y 12. 3. Instalar en el cuarto de control las dos señales redundantes de nivel en el 10C-5. 4. Instalar alarma sonora por más nivel en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos. 5. Instalar celdas de alta presión de bajo rango para el control de nivel en el 10C-5.	A



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Más nivel		LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	
126.	3. Más nivel en el 10C-32.	2. Ver más nivel en el 10C-32.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. La LAH-12. 2. Los LI-9, 12 y el LI-11. 3. El FIC-155.	1. Ver más nivel del 10C-32.	A

Desviación: Menos nivel		LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	
127.	1. Mal funcionamiento del LIC-10 (abra).	1. Mezcla de agua/hidrocarburo s al cabezal de agua amarga. 2. Pérdida de sello líquido en el 10C-5. 3. Alta presión en el 10C-8. 4. Baja presión parcial.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. El LIC-10. 2. La PSV-18 A/D. 3. La LAL-68. 4. La LV-10 en espera.	1. Instalar alarma por bajo nivel en el LIC-10. 2. Instalar alarma por bajo nivel al LIC-12. 3. Modernizar el lazo completo del LIC-10. 4. Instalar en el cuarto de control las dos señales redundantes de nivel en el 10C-5. 5. Instalar alarma sonora por menos nivel en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Menos nivel						LOI:	LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación			
128.	2. Mal funcionamiento del LIC-12 (abra).	1. Mezcla de agua/hidrocarburos al cabezal de agua amarga. 2. Pérdida de sello líquido en el 10C-5. 3. Alta presión en el 10C-8. 4. Baja presión parcial.	5 (4)	3 (3)	9 (8)	1. La PSV-18 A/D. 2. El LIC-12. 3. La LAL-68. 4. La 10FV-155 en espera.	1. Instalar alarma por bajo nivel en el LIC-10. 2. Instalar alarma por bajo nivel al LIC-12. 3. Modernizar el lazo completo del LIC-12. 4. Instalar en el cuarto de control las dos señales redundantes de nivel en el 10C-5. 5. Instalar alarma sonora por menos nivel en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.			A

Desviación: Más temperatura						LOI:	LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación			
129.	1. Falla en los soloaires 10E-2.	1. Por falta de condensación problemas en la succión del 10K-2.	4 (4)	3 (3)	8 (8)	1. Los TI-14, 16, 18, 20, 48 y TI-49. 2. Fuentes alternas para alimentar los motores de los soloaires de transformadores de potencia diferentes.	1. Instalar alarma por alta temperatura en los TI-48 y 49. 2. Instalar alarma sonora por más temperatura en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.			A



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Más temperatura			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
130.	2. Más nivel en 10C-32.	1. Por falta de condensación problemas en la succión del 10K-2.	4 (4)	3 (3)	8 (8)	1. Los TI-14, 16, 18, 20, 48 y TI-49. 2. El LIC-66. 3. La LAH-66.	1. Instalar alarma por alta temperatura en los TI-48 y 49. 2. Instalar alarma sonora por más temperatura en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A	

Desviación: Más presión			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
131.	1. Mal funcionamiento del PRC-93 y el PIC-11 (cierran).	1. Problemas operacionales.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. Las PSV-13 A/B. 2. La PRC-93 o PIC-11. 3. La HV-58.	1. Instalar un control por alta presión sobre la HV-58. 2. Instalar alarmas por alta presión en el PRC-93 y el PIC-11. 3. Modernizar el lazo completo del PRC-93 y PIC-11. 4. Instalar alarma sonora por más presión en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A	



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001.

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Más presión

Escn	Causa	Consecuencias	LOI:			Protección	LSI:	LSS:	Clase
			F	G	R				
132.	2. Más nivel en el 10C-5.	1. Ver mas nivel en el 10C-5.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. La LAH-12. 2. Las PSV-13 A/B. 2. La PRC-93 o PIC-11. 3. La HV-58.	1. Instalar un control por alta presión sobre la HV-58. 2. Instalar alarmas por alta presión en el PRC-93 y el PIC-11. 3. Instalar alarma sonora por más presión en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A	

Desviación: Menos temperatura

Escn	Causa	Consecuencias	LOI:			Protección	LSI:	LSS:	Clase
			F	G	R				
133.	1. Menos temperatura en el 10E-2 (<52 °C).	1. Obstrucción de los tubos por precipitación de sales de amonio.	4 (4)	3 (3)	8 (8)	1. Los TI-14, 16, 18, 20, 48 y TI-49.	1. Instalar alarmas por baja temperatura en los TI-48 y TI-49. 2. Cambiar el material de los tubos del soloaire 10E-2 por acero inoxidable. 3. Instalar alarma sonora por menos temperatura en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A	



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso: Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Menos presión		LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	
134.	1. Pérdida de sello líquido.	1. Pérdida de presión parcial de hidrógeno. 2. Más presión en el 10C-8. 3. Descontrol operacional.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. El PIC-11. 2. El PRC-93. 3. La LAL-68. 4. El LIC-12.	1. Instalar alarmas por baja presión en los PIC-11 y el PRC-93. 2. Instalar celdas de nivel modernas y confiables. 3. Dimensionar las válvulas de control FV-155. 4. Instalar alarma sonora por menos presión en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos. 5. Realizar un estudio para revisar y cambiar la placa de orificio adecuada para el FIC-155.	A
135.	2. Mal funcionamiento del PRC-93 o el PIC-11 (abran)	1. Pérdida de presión parcial de hidrógeno. 2. Descontrol operacional.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. El PIC-11 o el PRC-93.	1. Modernizar el lazo de control del PIC-11 y el PRC-93. 2. Instalar alarmas por baja presión en los PIC-11 y el PRC-93. 3. Instalar alarma sonora por menos presión en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A



Planta Hidrodesintegradora

Área/proceso Circuito de alta presión

Fecha: 3 y 4 de octubre de 2001

Nodo: Separador del gas de recirculación 10C-5

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno y hidrocarburos

Desviación: Menos presión

Escn	Causa	Consecuencias	LOI:			LOS: Protección	LSI:	LSS: Recomendación	Clase
			F	G	R				
136.	3. Depresurización por alto consumo de hidrógeno.	1. Pérdida de presión parcial de hidrógeno.	5 (5)	3 (3)	9 (9)	1. El PIC-11. 2. El PRC-93.	1. Modernizar el lazo de control del PIC-11 y el PRC-93. 2. Instalar alarmas por baja presión en los PIC-11 y el PRC-93. 3. Instalar alarma sonora por menos presión en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	A	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Escn	Causa	Consecuencias	LOI: 70Kg/cm ²			LOS: 200Kg/cm ²	LSI: 70Kg/cm ²	LSS: 210Kg/cm ²	Clase
			F	G	R	Protección	Recomendación		
137.	1. Abierta la purga del 10C-20.	1. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 2. Daños internos en el compresor. 3. Paro de producción. 4. Daño a todo el sistema de instrumentación del compresor. 5. Desfogue de sulfhídrico al quemador de campo.	5 (5)	1 (1)	5 (5)	1. El PDT-35. 2. El PI-44. 3. El TI-1-135. 4. El FRC-17.	1. Realizar el estudio pertinente para instalar un circuito de purificación de hidrógeno para eliminar el sulfhídrico. 2. Modernizar el lazo completo del PDT-35 y FRC-17.	B	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Menos presión en la succión			LOI: 70Kg/cm ²			LOS: 200Kg/cm ²	LSI: 70Kg/cm ²	LSS: 210Kg/cm ²
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
138.	2. Obstrucción parcial de la malla Demister del 10C-20.	1. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 2. Daños internos en el compresor. 3. Paro de producción. 4. Daño a todo el sistema de instrumentación del compresor. 5. Desfogue de sulfhídrico al quemador de campo.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. El PDT-35. 2. El PI-44 y PI-51. 3. El TI-1-135. 4. Las PV-93 A/B. 5. El PIC-11. 6. El FRC-17.	1. Realizar el estudio pertinente para instalar aspersores internos en el domo del 10C-20 para limpieza de la malla. 2. Modernizar el lazo completo del PDT-35, FRC-17, PIC-11 y PIC-93.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Menos presión en la succión			LOI: 70Kg/cm ²			LOS: 200Kg/cm ²	LSI: 70Kg/cm ²	LSS: 210Kg/cm ²	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección		Recomendación	
139.	3. Mal funcionamiento del PIC-93 (abra).	1. Desfogue de sulfhídrico al quemador de campo. 2. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 3. Daños internos en el compresor. 4. Paro de producción. 5. Daño a todo el sistema de instrumentación del compresor.	4 (3)	2 (2)	7 (6)	1. El PI-44. 2. El TI-1-135. 3. El PDT-35. 4. El FRC-17.		1. Modernizar el lazo completo del PDT-35, FRC-17 y PIC-11.	B



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Menos presión en la succión			LOI: 70Kg/cm ²			LOS: 200Kg/cm ²	LSI: 70Kg/cm ²	LSS: 210Kg/cm ²	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
140.	4. Calzada la PSV-13 A/B.	1. Desfogue de sulfhídrico al quemador de campo. 2. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 3. Daños internos en el compresor. 4. Paro de producción. 5. Daño a todo el sistema de instrumentación del compresor.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	1. El PI-44. 2. El PDT-35. 3. El FRC-17.	1. Modernizar el lazo completo del PDT-35 y FRC-17.	B	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Menos presión en la succión

LOI: 70Kg/cm²

LOS: 200Kg/cm²

LSI: 70Kg/cm²

LSS: 210Kg/cm²

Escn	Causa	Consecuencias	LOI: 70Kg/cm ²			LOS: 200Kg/cm ²	LSI: 70Kg/cm ²	LSS: 210Kg/cm ²	Clase
			F	G	R	Protección	Recomendación		
141.	5. Mal funcionamiento del LIC-10 (abra).	1. Contaminación del agua amarga con aceite. 2. Represionamiento del cabezal de agua amarga. 3. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 4. Daños internos en el compresor. 5. Paro de producción. 6. Daño a todo el sistema de instrumentación del compresor.	4 (2)	1 (1)	4 (2)	1. Indicador local de presión en el cabezal de agua amarga. 2. El PI-44. 3. El PDT-35. 4. El FRC-17.	1. Instalar una alarma por alta presión en el cabezal de agua amarga, de preferencia instalarlo después de las LV-10. 2. Modernizar el lazo completo del PDT-35 y FRC-17.	C	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Menos presión en la succión			LOI: 70Kg/cm ²			LOS: 200Kg/cm ²	LSI: 70Kg/cm ²	LSS: 210Kg/cm ²	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
142.	6. Mal funcionamiento del FIC-155 (abra).	1. Pérdida de presión en el sistema de alta. 2. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 3. Daños internos en el compresor. 4. Paro de producción. 5. Daño a todo el sistema de instrumentación del compresor.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. El PIC-11. 2. La PV-93 A/B. 3. Los PI-51 y PI-44. 4. El PDT-35. 5. El FRC-17.	1. Instalar una alarma por alta presión en el 10C-8. 2. Modernizar el lazo completo del PDT-35, PIC-11, PIC-93 y FRC-17.	B	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: No flujo en la succión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
143.	1. Que se cierre la válvula motorizada UVM-K2A, ubicada en la succión del 10K-2.	1. Daños a los internos del compresor. 2. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 3. Represionamiento en el sistema de alta presión.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. El PI-51. 2. La PV-93 A/B. 3. El PIC-11. 4. El PDT-35. 5. El PI-44. 6. El TI-1-135. 7. Alarma visual en el tablero de control. 8. El FRC-17.	1. Poner de forma permanente en el tablero una leyenda que indique "no accionar la válvula UVM-K2A durante la operación normal". 2. Modernizar el lazo completo del PDT-35, PIC-11, PIC-93 y FRC-17.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Menos presión en la descarga			LOI:			LOS: 213Kg/cm ²	LSI:	LSS: 220Kg/cm ²	
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase	
144.	1. Baja velocidad en la turbina.	1. Descontrol operacional. 2. Baja eficiencia del compresor.	4 (4)	1 (1)	4 (4)	1. Tacómetro en el cuarto de control. 2. Las SAL-7 y SAH-7. 3. El PI-44. 4. El PDT-35. 5. El FT-92. 6. El FRC-17.	1. Instalar alarma sonora por baja y alta velocidad en la turbina del 10K-2. 2. Realizar el estudio pertinente para la modernizar el control de velocidad del compresor 10K-2. 3. Modernizar el lazo completo del PDT-35, FR-92, FRC-10, FRC-11 y FRC-17.	B	
145.	2. Mal funcionamiento del FRC-17 (abra).	1. Descontrol operacional. 2. Baja eficiencia del compresor.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. El PIC-11.	1. Realizar un estudio para modernizar el sistema anti-surge del compresor 10K-2. 2. Modernizar el lazo completo del FR-92, FRC-10, FRC-11 y FRC-17.	B	
146.	3. Abierta la válvula del by-pass de la FV-17.	1. Descontrol operacional. 2. Baja eficiencia del compresor.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. El FRC-17. 2. El FR-92.	1. Modernizar el lazo completo del FR-92, FRC-10 y FRC-11.	B	
147.	4. Parcialmente cerrada la válvula motorizada UVM-2KB.	1. El compresor entra en fenómeno de surge. 2. Daño al compresor.	5 (2)	2 (2)	8 (4)	1. El FRC-17. 2. El FR-92.	1. Modernizar el lazo completo del FRC-17 y FR-92. 4. Asegurar que operen adecuadamente las válvulas motorizadas cada vez que arranque la planta.	B	



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso: Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: No flujo en la descarga

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
148.	1. Falla de los sellos del compresor 10K-2.	1. Pérdida de producción. 2. Pérdida de aceite en el carter. 3. Más presión en el 10C-20. 4. Descontrol operacional.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. El PI-44. 2. El PDT-35. 3. El FI-92. 4. El PI-31. 5. El PDT-102. 6. El PDR-28. 7. Los LI-108 y 109. 8. Alamas axiales y radiales por alta vibración en el compresor. 9. El LT-102.	1. Instalar un LG en el carter principal 10D-6, de acuerdo a norma API-614. 2. Realizar un estudio para efectuar la modernización del sistema de control del sistema de aceite de sellos del compresor. 3. Modernizar el lazo completo del PDT-35, PIC-11, PIC-93, FRC-17 y FR-92.	A
149.	2. Falla del check a la descarga del compresor.	1. Pérdida de producción. 2. Pérdida de aceite en el carter. 3. Descontrol operacional.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	1. El FRC-17.	1. Modernizar el lazo completo del FRC-17.	B



Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: No flujo en la descarga			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección		Recomendación	
150.	3. Falla de vapor de alimentación a la turbina.	1. Paro del compresor. 2. Descontrol operacional. 3. Pérdida de producción.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	1. La PAL-116. 2. Rotación de equipo que utiliza turbina por el equipo que es a motor.		1. Asegurar la disponibilidad de equipos de relevo.	B
151.	4. Que se cierre la válvula motorizada UVM-K2B, ubicada en la succión del 10K-2.	1. Daños a los internos del compresor. 2. Entra en fenómeno de surge el 10K-2. 3. Represionamiento en el sistema de alta presión. 4. Fugas internas y externas en los 10E-19 A/B y 10E-1 A/B, e incendio. 5. Menos flujo al calentador 10F-2. 6. Daños al calentador 10F-2. 7. Descontrol operacional.	5 (5)	2 (2)	8 (8)	1. El PI-51. 2. La PV-93 A/B. 3. El PIC-11. 4. El PDT-35. 5. El PI-44. 6. El TI-1-135. 7. Alarma visual en el tablero de control. 8. El FRC-17. 9. El FR-92.		1. Poner de forma permanente en el tablero una leyenda que indique "no accionar la válvula UVM-K2B durante la operación normal". 2. Modernizar el lazo completo del PDT-35, PIC-11, PIC-93, FRC-17 y FR-92.	A



Planta Hidrodesintegradora

Area/proceso Circuito de hidrógeno

Fecha: 23 y 24 de agosto de 2001

Nodo: 3. Compresor de hidrógeno de recirculación 10K-2

Diagramas: 10R-A-15

Producto: Hidrógeno de recirculación

Desviación: Arrastre de hidrocarburos			LOI:			LOS:	LSI:	LSS:	Clase
Escn	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación		
152.	1. Inundación en el 10C-20.	1. Vibración y daños al compresor.	4 (4)	2 (2)	7 (7)	1. La LAH-14. 2. El LI-14. 3. La LAH-12. 4. El LG-11.	1. Modernizar el lazo completo de LAH-12 y LAH-14. 3. Realizar el estudio pertinente para instalar un circuito de purificación de hidrógeno para eliminar el sulfhídrico. 4. Aumentar el tiempo de residencia en el 10C-5. 5. Realizar un estudio para colocar la descarga de gas en el domo del 10C-5 y para instalar una malla demister 10C-5. 6. Realizar el estudio pertinente para modificar el diseño de los internos del 10C-5.	B	



3.5 Análisis de Consecuencias

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

El análisis se llevó a cabo alimentando datos reales de la unidad a los programas PHAST versión 6 y ARCHIE “*Automated Resource for Chemical Hazard Incident Evaluation*” Versión 1.0. Estos programas dan como resultado los efectos de un evento indeseable; se utilizaron para el cálculo los siguientes modelos:

1. Velocidad de descarga: Este modelo se utilizó debido a que en caso de una fuga es un valor indispensable para cualquier cálculo posterior.
2. Inflamación de una descarga súbita en forma de chorro (flame jet): Este modelo se usó para el caso en que se prendiera una fuga de hidrógeno / hidrocarburos y poder saber que dimensiones puede alcanzar la flama así como la radiación emitida.
3. Explosión de una nube de vapor no confinada: Este modelo puede ayudar a conocer, en caso de que se forme una nube de hidrógeno / hidrocarburos, el alcance de esta; siendo muy útil saberlo para poder establecer límites de seguridad para las personas que se encuentren en el área.

3.5.1 Evaluación de Consecuencias por Fuga en el Tanque 10C-5.

En esta parte del estudio de riesgos en la planta hhdodesintegradora se presentan los resultados de la evaluación de efectos de incendio y explosión del escenario: “Fuga por una brida del tanque 10C-5”, el cual fue considerado como uno de los equipos de mayor riesgo.



A continuación se describe el escenario de incendio y explosión seleccionado y sus posibles causas, fundamentos y efectos, así como también los modelos de evaluación de riesgos que se utilizaron:

Descripción del Suceso

Se tomó como escenario la fuga por la brida de unión entre el tanque 10C-5 y la línea 10-H-401-10"-G13. Aún cuando la probabilidad de que este escenario suceda es muy baja ya que implica la fuga por la brida, se optó por él debido a las siguientes razones:

- La toxicidad y flamabilidad de los gases de operación así como las altas condiciones de presión a las cuales se trabaja. El riesgo potencial de llevar hidrógeno que es un gas altamente inflamable con un amplio límite de explosividad y ácido sulfhídrico (H_2S), que es un gas venenoso capaz de producir la muerte por inhalación aún en concentraciones relativamente pequeñas.

-La gravedad de las consecuencias que un incendio o explosión podrían traer son considerables. El tanque tiene dos características principales, alta presión y una cantidad considerable de hidrógeno, así como la presencia de gases tóxicos en altas concentraciones con respecto a otros tanques y secciones del proceso.

-La conveniencia de saber como afectaría al área el suceso en sus diferentes posibilidades, ya que puede haber un incendio, una explosión o bien podría existir una fuga y/o dispersión de gases tóxicos. Después de haber finalizado el análisis HazOp para la unidad hidrodesintegradora catalítica es de vital importancia hacer un análisis del escenario o los escenarios virtuales que sucederían si por alguna razón existiera una fuga de material en un equipo crítico dentro del proceso, es por ello que se seleccionó el tanque 10C-5 por que este recipiente conjuga a dos de las principales variables a tomar que resaltan en la operación de la unidad, las cuales son la toxicidad y la flamabilidad.



Descripción del Posible Escenario: El día xx/yy/zz se tiene una descarga del tanque de separación 10C-5 localizado en el área de reacción de la unidad de hidrodeseintegración catalítica, la descarga es ocasionada por una fuga en la brida de descarga de gases del tanque, escapándose el contenido a la atmósfera. El tanque tiene una presión de operación alta y contiene vapores y gases tóxicos e inflamables (H_2 , H_2S , NH_3 e hidrocarburos).

Objetivo: Evaluar la duración y velocidad de la descarga, nube de fuego por vapor y explosiones, flama jet así como evaluación de gases tóxicos y su dispersión

I. Análisis de una Explosión por una Nube No Confinada.

La explosión de una nube no confinada se da cuando existe una acumulación de material dentro del intervalo de inflamabilidad, que avanza hasta encontrar una fuente de ignición como un horno a fuego directo, un aparato eléctrico, una chispa o cigarrillos encendidos. Si esto ocurre inmediatamente después de producirse la emisión los resultados del accidente serán un incendio instantáneo o una explosión de pequeña magnitud. A medida que avanza el material acumulado la nube llega a ser suficiente como para que la explosión llegue a ocasionar efectos de destrucción importantes.

Aunque existen discrepancias sobre el valor umbral en el que se puede pasar de un incendio instantáneo a una explosión, en la bibliografía se encuentra comúnmente que por debajo de 1 a 15 toneladas de vapor inflamable en la nube las explosiones son improbables, aunque se han citado valores inferiores del orden de algunas decenas de kilogramos para especies muy reactivas como el hidrógeno. A este respecto debe tomarse en cuenta que la cantidad de material que pueda acumularse en un tiempo corto puede ser muy grande si el flujo de material inflamable lo es. Aunque también influyen otros factores como la velocidad a la que aumenta la presión, la duración de la fase positiva y la magnitud del enrarecimiento posterior, el daño producido por una explosión no confinada depende de la cantidad de sobrepresión máxima que se llegue a tener.

El hidrógeno es mucho menos denso que el aire (más de diez veces menos denso que el oxígeno y 16 que el nitrógeno) este gas se dispersa rápidamente de forma ascendente. El tanque de separación 10C-5 contiene una alta cantidad de hidrógeno y es muy baja la probabilidad de ocurrencia



de una explosión ya que el tanque se encuentra en un lugar abierto, es decir, no hay posibilidad de que una acumulación de hidrógeno u otros gases que puedan provocar una explosión.

Tabla 3.7: Propiedades de la Nube.

Estabilidad atmosférica	D
Calor de Combustión (BTU/lb) :	43843.5
Límite Inferior Explosividad. (%) :	2.2
Límite Superior Explosividad. (%) :	56.0
Altura de la Nube (ft):	30.0
Volumen del Gas a TPN (ft ³) :	701.2
Dispersión	Rápida, Espacio Abierto

II. Análisis de una Flama Jet

Los datos ingresados al programa se muestran en las siguientes dos tablas:

Tabla 3.8: Propiedades de la Mezcla de Gases del 10C-5.

<i>Propiedades fisicoquímicas</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
<i>Punto de ebullición normal de la mezcla</i>	-376.3	°F
<i>Temperatura de salida del material</i>	93	°F
<i>Temperatura del aire durante la descarga</i>	77	°F
<i>Presión del vapor en el contenedor</i>	2940	psia
<i>Peso del contenido del tanque</i>	2436	lbs
<i>Peso molecular del material</i>	7	g/mol
<i>Límite inferior de inflamabilidad (LII)</i>	3.95	% vol
<i>Límite superior de Inflamabilidad (LSI)</i>	56	% vol
<i>Calor de combustión</i>	43843.5	Btu/lbr
<i>Cp/Cv a 1 atm</i>	1.38	
<i>Velocidad del viento</i>	6	m/s

Tabla 3.9: Datos del Tanque Horizontal Cilindrico

<i>Propiedades del contenedor</i>	<i>Valor</i>	<i>Unidades</i>
<i>Longitud</i>	27	ft
<i>Diámetro</i>	5.75	ft
<i>Volumen total</i>	701.2	ft ³
<i>Volumen del gas/vapor</i>	701	ft ³
<i>Peso del gas/vapor</i>	2436	lbs
<i>Diámetro de la fuga</i>	0.225	in
<i>Coefficiente de descarga</i>	0.86	

Descarga del gas: En la tabla 3.10 se tienen los datos de los últimos 3 meses en que se analizó la composición de vapores y aguas amargas para el 10C-5. En este tanque se tiene una mezcla de gases cuya composición es la siguiente:



Tabla 3.10 Composición del Tanque Separador de Gas de Recirculación 10C-5

Componente	% vol.
H ₂ S	3.5%
H ₂	72.5%
CO ₂	0%
C ₁	20.2%
C ₂	2.45%
C ₃	0.8 %
C ₃ ⁺	0%
iC ₄	0.1%
n-C ₄	0.2 %
60/60°F	0.25%

Aguas Amargas:

	PH	Fe	H ₂ S	NH ₃	Bisulfuro
	8-10	<.04 ppm	<18000 ppm	<15000 ppm	<3%
prom.	9.3	0.37 ppm	8206 ppm	4912 ppm	0.43

Tabla 3.11: características estimadas del contenedor

VOLUMEN DEL GAS/VAPOR	= 701.2 ft ³
Peso de Gas/ vapor	= 2436 lbs
Altura de la descarga	= 3.28m
Diámetro del orificio	= 0.225 in
Coficiente del orificio de descarga	= 0.86
Coficiente calorífico para el gas	= 1.38

La mayoría de los datos suministrados se obtuvieron tomando en cuenta la composición de la mezcla, por ejemplo:

$$-\text{Temperatura de ebullición de la mezcla (}^{\circ}\text{F)} = 0.725(-423^{\circ}\text{F)} + 0.202(-258.6^{\circ}\text{F)} + 0.035(-76.6^{\circ}\text{F)} + 0.0245(-127.6^{\circ}\text{F)} + 0.008(-47.3^{\circ}\text{F)} + 0.0025(60^{\circ}\text{F)} + 0.002(31.2^{\circ}\text{F)} + 0.001(10.7^{\circ}\text{F)} = -376.3^{\circ}\text{F}$$

$$-\text{Coficiente calorífico para el gas} = 0.725(1.41) + 0.202(1.32) + 0.035(1.3) + 0.0245(1.22) + 0.008(1.15) + 0.0055(1.11) = 1.38$$

**Resultados***Tabla 3.12 Primera Serie de Cálculos Obtenidos*

Peso del contenido del tanque	= 2436 lbs / 1105Kg
Temperatura del contenido del tanque	= 93 ° F /33.8°C
Temperatura ambiente	= 77 °F
Presión de vapor en el tanque	= 2940 psia /202.7 bar
Peso molecular del químico	= 7
Punto de ebullición normal	= -376.3 deg F
Cp/Cv Coeficiente calorífico del gas (1 atm)	= 1.38

Tabla 3.13 Resultados Arrojadados para la Descarga PHAST:

Escenario:	Fuga de gas presurizado en dirección horizontal
Orificio:	Diámetro: 5.71mm
Condiciones de Salida:	103.4bar y -6°C
Flujo máximo de descarga	= 67 lbs/min 0.51 Kg/s
Duración de la descarga	= 31.5 minutos
Cantidad descargada	= 2436 lbs
Estado del material	= Gas

Este procedimiento supone que va a vaciarse el tanque después de que el flujo cese.

Del programa ARCHIE se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3.14 Velocidad-Duración de la Descarga.

Propiedades	Valor	Unidades
Velocidad de descarga	77.6	lbs/min
Duración de descarga	31.5	min
Cantidad descargada	2436	lbs
Estado del material	Gas	

Del programa PHASTH con el método SHELL se obtiene:

Tabla 3.14 Inflamación de una Descarga Súbita en Forma de Chorro (Flama- Jet).

Propiedades	Valor	Unidades
Longitud de la flama	10.35	m
Distancia de afectación	18	m
Duración de la flama	31	min
Velocidad de la flama	500	m/s
Poder emisivo de la flama	140.22	KW/m ²

Los resultados indican que se deberán tomar medidas de seguridad que cubran esta distancia ya que la radiación emitida puede originar daños en otros equipos o bien incidir en la ocurrencia de otro evento.



III. Dispersión de una nube Toxica

Una nube toxica originada por la fuga de la mezcla gaseosa del tanque estaria en su mayor cantidad compuesta por H_2 y CH_4 (93%), estos gases se dispersan rápidamente por lo ligeros que son con respecto al aire. Para el ácido sulfhídrico se consideró que si ocurría alguno de los eventos anteriores, se podría considerar que este se quemara por completo, aunque esto es una hipótesis y por lo tanto se deben tomar las precauciones adecuadas debido a la alta toxicidad de este gas.

El programa de calibración de líneas mantiene un control exacto del desgaste de las líneas, determinando de esta manera su límite de retiro, con lo que se evita la posible fuga en cualquier conexión en cualquier sección de la planta.

3.6 Evaluación de Riesgos con la Técnica de Árbol de Fallas para el Compresor 10K-2.

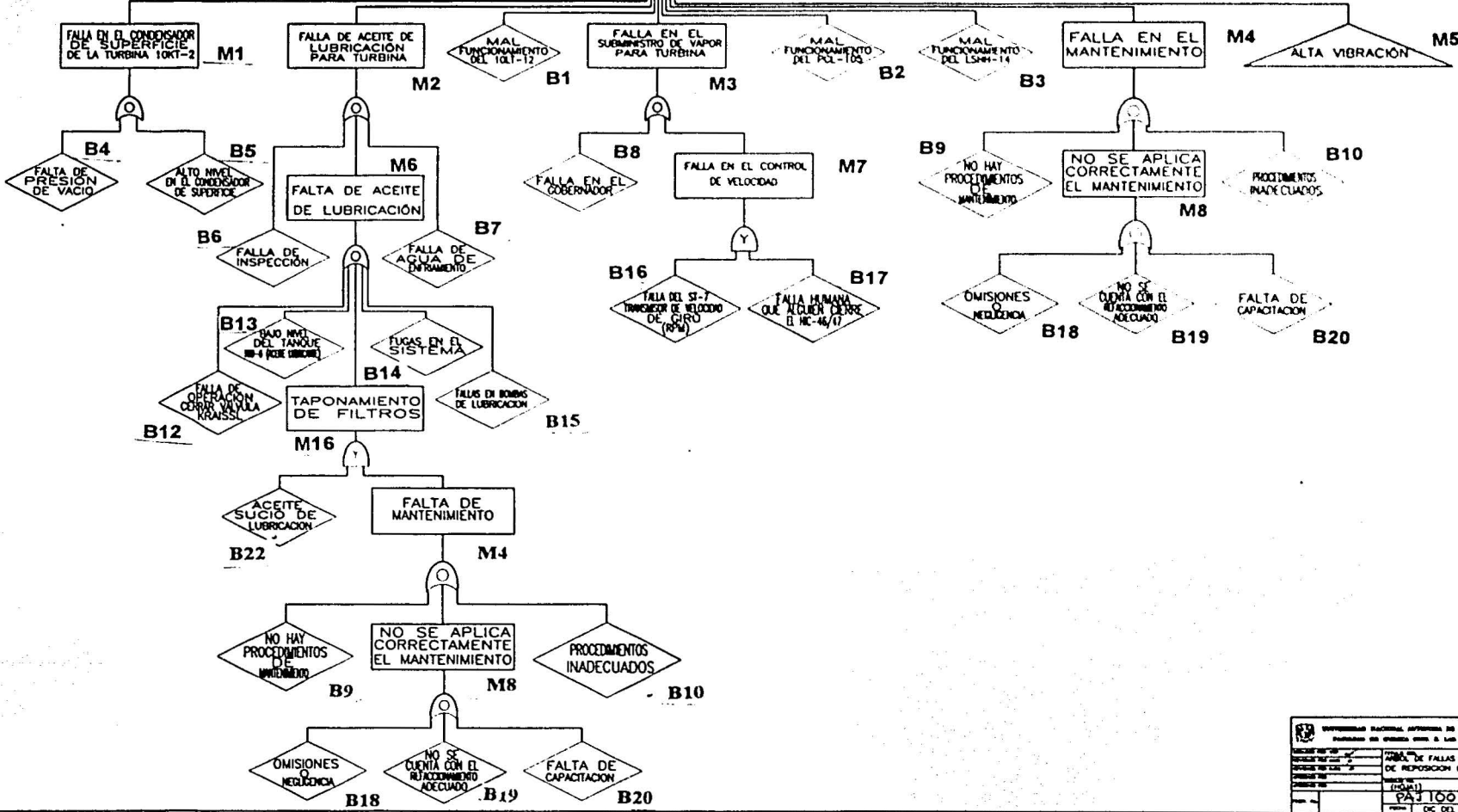
La técnica de análisis de árbol de fallos fue usada para la evaluación cuantitativa del escenario: "Falla en el compresor de recirculación de hidrógeno 10K-2".

El compresor centrífugo 10K-2 de marca Cooper-Bessemer, de tipo barril, es de un paso de compresión y es impulsado por una turbina de velocidad variable montada sobre la misma base del compresor. El compresor 10K-2 maneja una mezcla de gases como H_2S , NH_3 , C_1 , C_2 a C_5 e hidrógeno con 72.5% en volumen. De ocurrir una falla se ocasiona inestabilidad operacional pudiendo provocar fugas, incendio y pérdidas de productos.

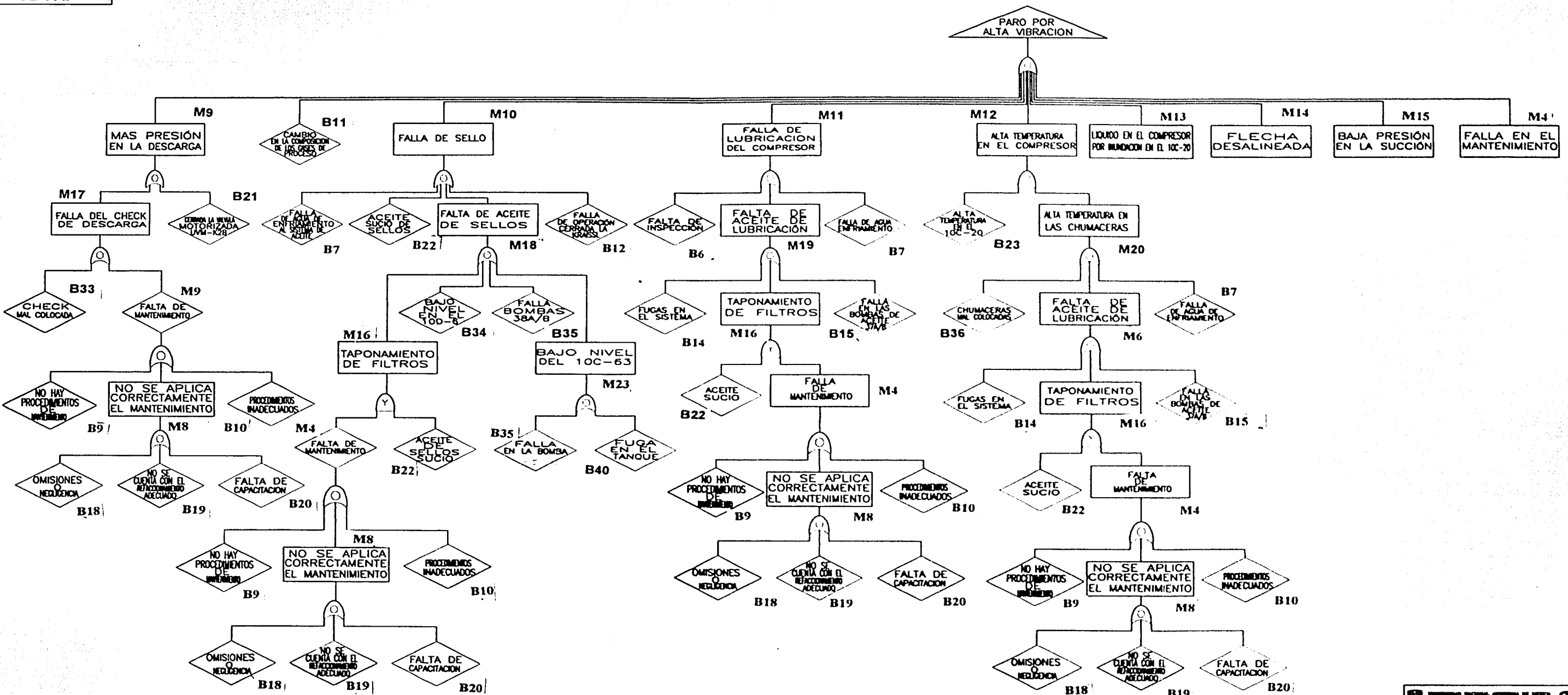
Descripción del Escenario.

Para el análisis de árbol de fallos se seleccionó el escenario: paro del compresor 10K-2 por falla, de recirculación de hidrógeno, el cual se muestra en los diagramas anexados al documento (FQ-340-AF1, FQ-340-AF2-2A y el FQ-340-AF2-2B).

**PARO
COMPRESOR
10K-2**



INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS	
TÍTULO:	TABLA DE FALLAS DEL COMPRESOR DE REPOSICION DE H2 (10K-2)
AUTOR:	PAJ 100
FECHA:	1971
ESCALA:	1:1
HOJA:	1 DE 200



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
 INSTITUTO DE QUÍMICA, QUÍMICA Y LABORATORIO

ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA PLANTA DE HIDRODESALINACIÓN CATALÍTICA

ÁMBITO DE FALLOS DEL COMPRESOR DE REPOSICIÓN DE H₂ (10C-2)

FECHA: 10-3-2001

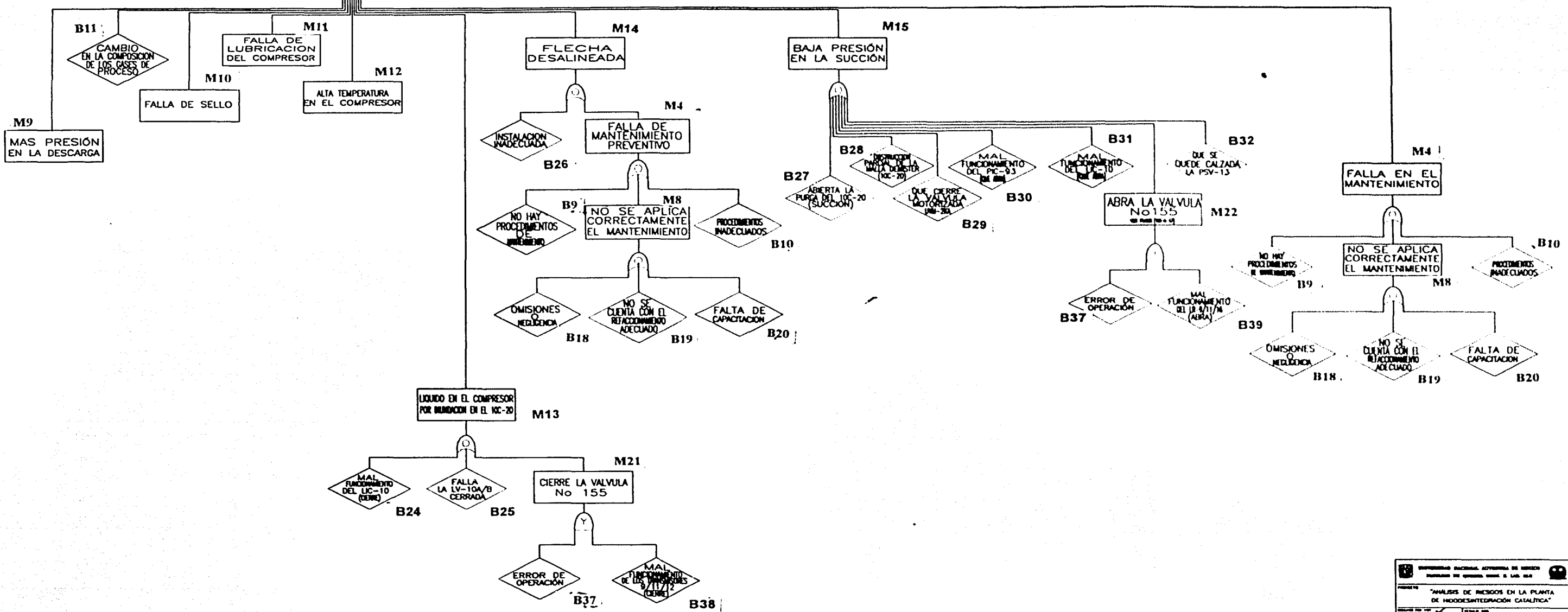
PROYECTO: 70-340-472 (H-2001)

FECHA: 10-3-2001

HOJA: 101

DE: DEL 2001

PARO POR ALTA VIBRACION



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE QUÍMICA, QUÍMICA E LAB. QCA	
TÍTULO: "ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA PLANTA DE HIDROSINTERIZACIÓN CATALÍTICA"	
FECHA DE ELABORACIÓN: 2	FECHA DE REVISIÓN: 2
ELABORADO POR: JOAQUÍN	REVISADO POR: JOAQUÍN
PROYECTO: 70-340-07 (HOLAS)	FECHA: 05 DEL 2001
HOJA: 108	DE: 108



ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLOS

EVENTO	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
Paro del compresor 10K-2. por falla.	El compresor 10K-2 puede pararse por baja presión de aceite de lubricación, por nivel bajo en el recipiente elevado de aceite de sellos, por nivel alto en el recipiente elevado de aceite de sellos, por nivel alto en el separador del gas de recirculación, por que se encuentra abierta la purga del separador de líquidos del compresor 10K-2, por obstrucción parcial de la malla Demister del separador de líquidos del compresor 10K-2, por mal funcionamiento del PIC-93 o del LIC-10 o del LIC-12 o FV-17, por que se encuentre calzada la PSV-13 A/B, por que se encuentre cerrada la válvula UVM-K2A/B, por falla del check a la descarga del 10K-2, por falla de vapor de alimentación a la turbina o por baja velocidad en la turbina, etc.	Daños internos al compresor y a su sistema de instrumentación, descontrol operacional por la falta de hidrógeno teniendo que parar la producción.



3.6.1 Aplicación del Método de Conjuntos Mínimos⁽¹⁾

En los diagramas FQ-AF1 y FQ-AF2 se tiene el árbol de fallas obtenido, en estos diagramas se pueden observar tres tipos de eventos: 1) El evento culminante (top event), 2) Eventos intermedios y 3) Eventos básicos.

T: Evento culminante (Top event).

Mi: evento intermedio i (Intermediate event).

Bj: evento básico j (Basic events).

El primer paso consiste en poner este árbol en términos de estos tres tipos de eventos y representándolo como una ecuación Booleana:

$$T = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 + B_1 + B_2 + B_3$$

Luego se procede a hacer la sustitución de los eventos intermedios por eventos básicos o bien las causas de los eventos intermedios, hasta tener la ecuación reducida. Cabe señalar que para cada compuerta se aplican las reglas descritas en el capítulo 2, que son:

Para una compuerta "O"

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

Y para una compuerta "Y"

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

La reducción continúa con el reemplazo de los eventos intermedios por sus causas (los eventos básicos) y con la aplicación de las reglas del álgebra Booleana.

$$T = (B_4 + B_5) + (B_6 + M_6 + B_7) + (B_8 + M_7) + (B_9 + M_8 + B_{10}) + (B_{11} + M_4 + \sum^1_5, M_i) + \sum^3 B_j$$

Este emplazamiento se realiza hasta que la totalidad del árbol está representado en términos de elementos básicos, en este momento se dice que el árbol está constituido por conjuntos mínimos, esto implica el nacimiento de un nuevo árbol de fallas que es lógico y matemáticamente equivalente al anterior.



Tabla 3.15: Reglas Booleanas de uso Frecuente en el Análisis de Árbol de Fallas.

REGLA	FORMA MATEMÁTICA
Commutativa:	$A * B = B * A$ $A + B = B + A$
Asociativa:	$A * (B * C) = (A * B) * C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$
Distributiva:	$A * (B + C) = A * B + A * C$ $A + (B * C) = (A + B) * (A + C)$
Idempotente	$A * A = A$ $A + A = A$
De la Absorción:	$A * (A + B) = A$ $A + (A * B) = A$

Finalmente se obtiene (apéndice B) la siguiente ecuación que representa al nuevo árbol de fallas con conjuntos mínimos (diagramas FQ-340-AFCMA y el FQ-340-AFCMB):

$$T = \sum^{15} B_j + (B_{16} + B_{17}) + \sum^{36}_{21} B_j + (B_{37} * B_{38}) + (B_{37} * B_{39}) + B_{40} + (B_{22} * (B_9 + B_{10} + B_{18} + B_{19} + B_{20}))$$

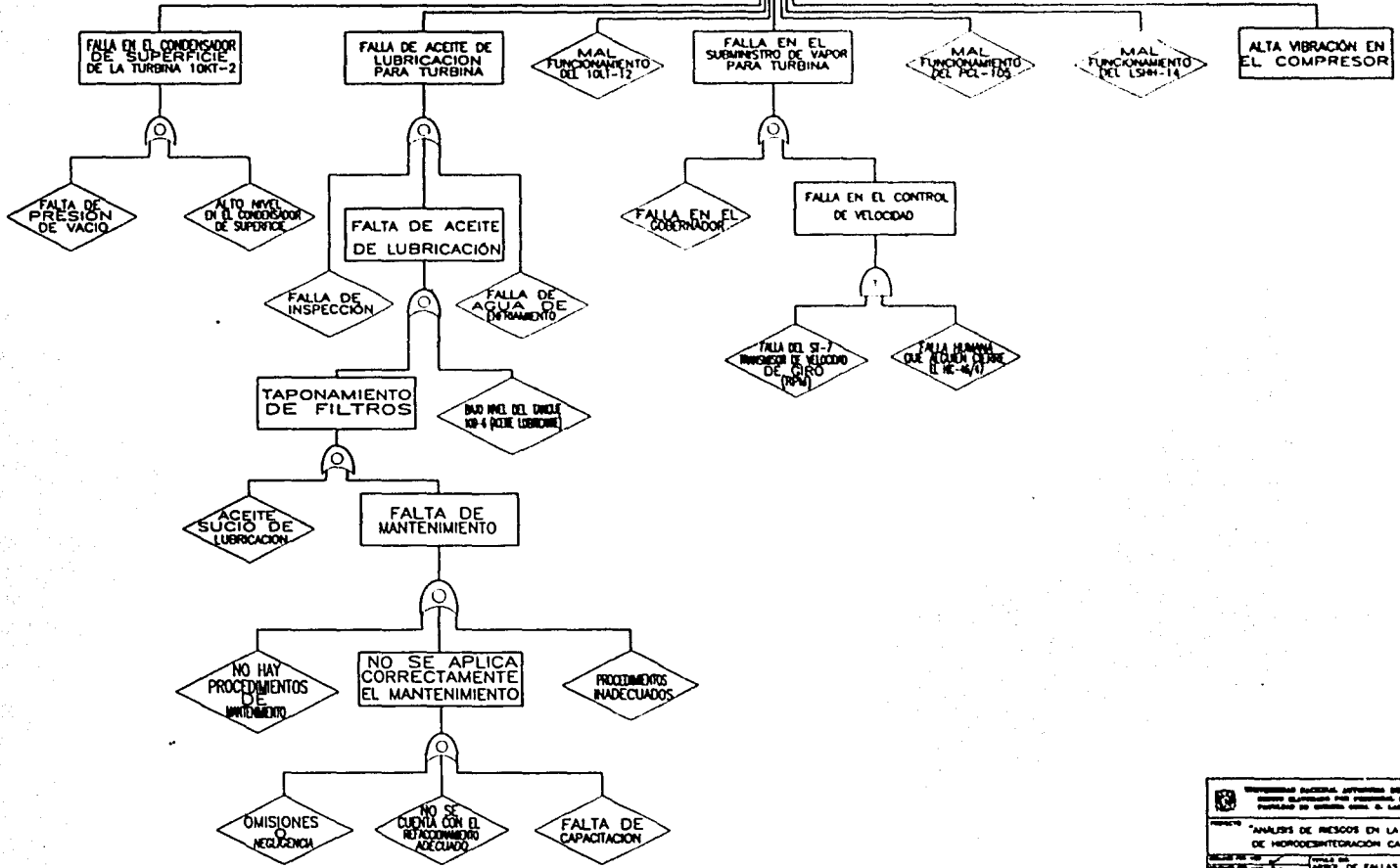
La probabilidad del evento culminante se obtiene asignando a cada evento una probabilidad de ocurrencia preferentemente con datos obtenidos de la experiencia de sucesos similares, ocurridos en la planta o en procesos semejantes. También se puede recurrir a la ecuación 1, usando para este cálculo la frecuencia de ocurrencia que se obtuvo directamente de la experiencia vertida en el análisis HazOp.

Otra forma de obtener la probabilidad de ocurrencia del evento, puede ser mediante la experiencia profesional vertida por diferentes grupos y empresas o bien la encontrada en fuentes bibliográficas. En la recopilación continua de datos (de probabilidades de ocurrencia) se buscará siempre contar con una buena base de datos para asignar así un dato específico a cada evento, es cierto que a veces los valores numéricos pueden ser muy inciertos, pero a veces es mejor tener un número que nada para hacer una estimación. Para este caso se utilizaron diversas fuentes, tales como los datos emanados de este y otros estudios HazOp, de la bibliografía y de los criterios de la tabla A-2 del apéndice A.

Después de aplicar el método de conjuntos mínimos la probabilidad resultante fue del orden 0.92, lo cual quiere decir que ha ocurrido o puede ocurrir en un año, el evento de forma inminente. (Las recomendaciones emanadas de este análisis de árbol de fallas, y que buscan reducir esta probabilidad, se pueden consultar en el capítulo 4.3).

PARO
DE
COMPRESOR
10K-2

POR CONJUNTOS MÍNIMOS
TENEMOS UNA PROBABILIDAD
DE EVENTO CULMINANTE
DE 0.023 ES DECIR 2.56 VECES POR AÑO
O BIEN ENTRE ODA 4 A 6 MESES POR AÑO

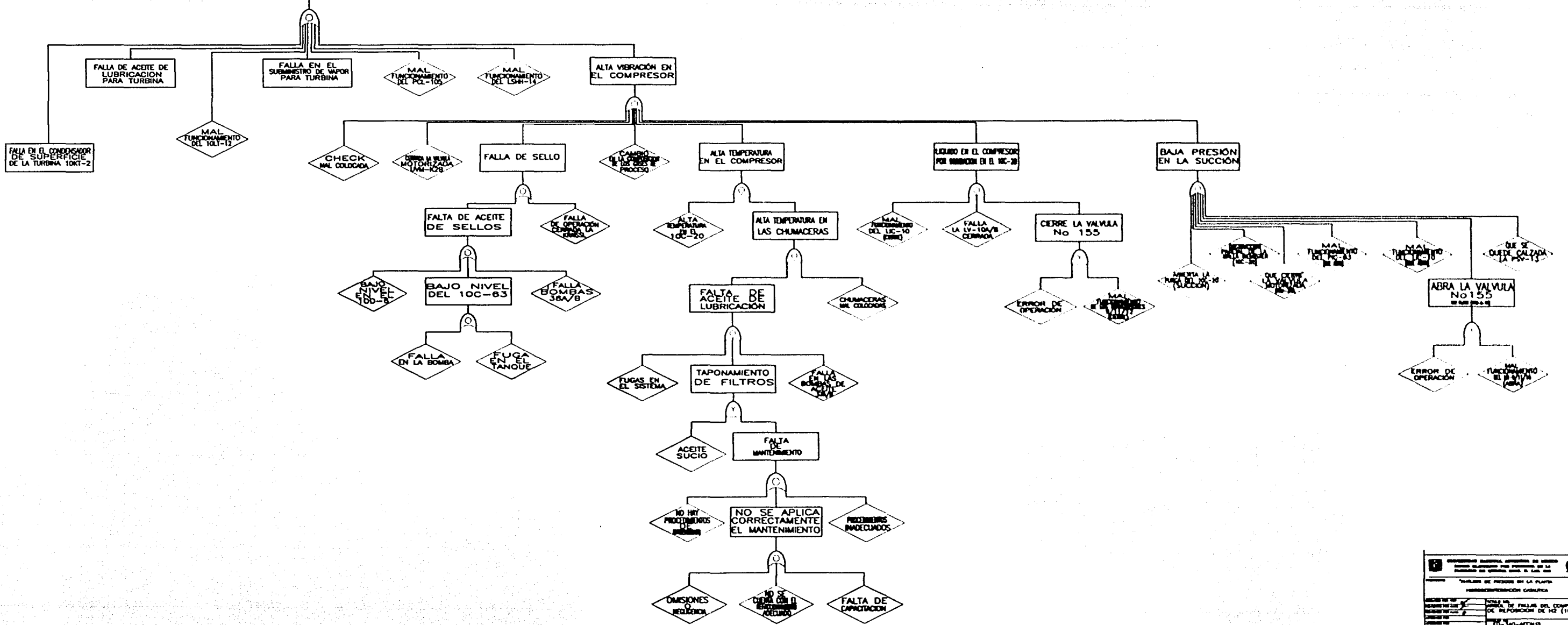


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		CENTRO DE INVESTIGACIONES Y DESENVOLUPAMIENTO TECNOLÓGICO	
ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA PLANTA DE HIDRODENTRIFICACIÓN CATALÍTICA			
FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN
ELABORADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR	CANCELADO POR
REVISADO POR	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN
FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN
FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN
FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN
FECHA DE ELABORACIÓN	FECHA DE REVISIÓN	FECHA DE APROBACIÓN	FECHA DE CANCELACIÓN

106

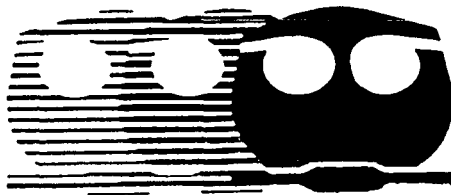
PARO DEL COMPRESOR 10K-2

POR CONTORNOS MÍNIMOS TENEMOS UNA PROBABILIDAD DE EVENTO CULMINANTE DE 0.221 15 VEZES 2.5 VEZES POR AÑO O 0.553 VEZES POR AÑO



<p>COMANDO EN JEFE, COMANDO EN JEFE</p> <p>COMANDO EN JEFE, COMANDO EN JEFE</p>	
<p>TITULO DE PREVENCIÓN DE LA PLANTA</p> <p>INTERVENCIÓN OPERATIVA</p>	
<p>FECHA DE ELABORACIÓN</p> <p>10-30-2001</p>	<p>FECHA DE APROBACIÓN</p> <p>10-30-2001</p>
<p>FECHA DE REVISIÓN</p> <p>10-30-2001</p>	<p>FECHA DE REVISIÓN</p> <p>10-30-2001</p>

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES





4.1 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis HazOp

La realización del análisis de riesgos con la técnica HazOp permitió sugerir 102 recomendaciones que mejoraran la seguridad y la eficiencia de la unidad de proceso:

El 66 % de las recomendaciones fueron clase A, eso quiere decir que es imperante el llevar a cabo este tipo de recomendaciones puesto que el cumplimiento de estas incidirá directamente en el mejoramiento de la seguridad y la operación eficiente del proceso.

El 28% de las recomendaciones fueron clase B esto indica que la planta puede seguir operando, sin embargo cualquier acción que se realice en las recomendaciones que caen en esta clase tendrán un efecto notable en la seguridad y operación de la planta de hidrodeseintegración catalítica derivando en beneficios en la producción de la misma

Solo el 6% de las recomendaciones nos indican que la planta puede seguir operando de manera segura sin necesidad de realizar recomendaciones. Por lo tanto queda de manifiesto que la realización del análisis HazOp contribuyó de forma directa en la descripción mejoramiento en materia de seguridad y operación, ya que es de gran ayuda como herramienta efectiva en la identificación de riesgos su nivel así como método bastante útil para generar recomendaciones directas en la mitigación del nivel de riesgo.

El uso del análisis HazOp es reconocer que los accidentes son resultado de una cadena lógica de causas y circunstancias, que pueden evitarse y cuando menos pueden reducir su gravedad. Después de la realización de este estudio se tienen una serie de recomendaciones emanadas de un análisis sistemático, en el cual se ha vertido la experiencia de un equipo multidisciplinario de profesionistas y es de esperarse que los problemas ya identificados en la operación y el control de la planta puedan ser tratados racionalmente, sin duda las bondades del análisis HazOp son muchas, pero también es cierto que los resultados solo serán satisfactorios en medida que el cumplimiento de estas recomendaciones sea efectivo.



A continuación se presentan las recomendaciones clasificadas según su prioridad, los resultados son producto del Análisis HazOp.

Tabla 4.1 Recomendación Emanadas del Análisis HazOp

No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escenarios.	Fecha
1.	Instalar disparo por alta temperatura tanto en la salida como en cada uno de los termosquimes de los calentadores 10F-1 y 10F-2.	10	A	53, 54, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 94, 95, 109 y 110	Reparación del 2003
2.	Instalar alarmas por alta temperatura en los cabezales de salida de los calentadores 10F-1 y 10F-2, en el sistema de adquisición de datos.	10	A	53, 54, 81, 82, 85, 86, 87, 88, 89, 94, 95, 109 y 110	Reparación del 2003
3.	Modernizar transmisores y celdas de presión diferencial en cada uno de los serpentines de los calentadores 10F-1 y 10F-2, en el sistema de adquisición de datos.	10	A	53, 54, 86 y 89	Reparación del 2003
4.	Instalar señal de flujo y alarma sonora por bajo flujo de aceite en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual.	10	A	117	Reparación del 2003
5.	Instalar alarma sonora por pérdida de isotermicidad en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual.	10	A	121, 122 y 123	Reparación del 2003
6.	Implantar el sistema de corte y despresurización de la planta.	10	A	90, 91, 93, 100, 103, 104, 106, 108, 109, 110, 115, 117, 121, 122, 123, 124, 125 y 126	Reparación del 2003
7.	Modernizar la copa de succión de las bombas ebuladoras 10G-16/17, con separadores tipo ciclón.	10	A	121	Reparación del 2003
8.	Modernizar el plato distribuidor de los reactores 10C-2 y 10C-3.	10	A	122	Reparación del 2003
9.	Modernizar la instrumentación de medición de presión diferencial e instalar alarmas por alta y baja presión diferencial en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual.	10	A	90, 91, 92, 93, 107 y 122	Reparación del 2003
10.	Implantar más detectores de nivel de catalizador en los reactores 10C-2 y 10C-3.	10	A	96, 97, 98, 100, 101, 102, 103, 106, 107, 127 y 128	Reparación del 2003



No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escenario.	Fecha
11.	Modernizar el lazo completo de los siguientes instrumentos: FIC-1, FIC-10, FIC-11, FIC-74, FIC-81, FIC-155, FRC-14, FRC-17, FRC-94, FRC-156, FRC-157, FRC-158, FRC-159, FRC-163, FRC-169, FR-85, FR-87, FR-92, FR-98 y FI-167.	10	A	6, 7, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47, 55, 56, 57, 58, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 94, 105, 116, 145, 220, 221, 237, 241, 246, 247, 248, 249, 253 y 254	Reparación del 2003
12.	Modernizar el lazo completo de los siguientes instrumentos: FIC-1, FIC-10, FIC-11, FIC-74, FIC-81, FIC-155, FRC-14, FRC-17, FRC-94, FRC-156, FRC-157, FRC-158, FRC-159, FRC-163, FRC-169, FR-85, FR-87, FR-92, FR-98 y FI-167.	10	A	6, 7, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 44, 45, 46, 47, 55, 56, 57, 58, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 87, 94, 105, 116, 145, 220, 221, 237, 241, 246, 247, 248, 249, 253 y 254	Reparación del 2003
13.	Modernizar el lazo completo de los siguientes instrumentos: PC-29, PC-83, PIC-2, PIC-3, PIC-6, PIC-11, PIC-24, PIC-73, PIC-76 (operarlo en modo automático), PIC-93, PIC-500, 13PIC-1, PDT-9, PDT-35, PDR-9, PDR-10, PDR-36, PRC-12, PRC-13, PRC-93, PR-77 y PAL-114.	10	A	3, 4, 5, 19, 17, 18, 20, 21, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35, 39, 42, 51, 55, 56, 57, 58, 62, 64, 65, 66, 67, 68, 70, 71, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 90, 91, 93, 112, 134, 141, 151, 155, 156, 159, 163, 166, 168, 169, 170, 190, 191, 196, 197, 198, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 217, 218, 219, 220, 221, 230, 231, 232, 233, 242, 243, 247, 248, 249, 251, 252, 253, 254, 255, 258, 259, 260, 261, 263, 264, 265, 266, 267, 268, 277, 279, 278 y 282	Reparación del 2003
14.	Modernizar el lazo completo de los siguientes instrumentos: TAH-26, TAH-46, TAH-50, TAH-56, TAH-57, TRC-1, TRC-2, y TRC-37 (operarlo en modo automático).	10	A	16, 22, 23, 24, 25, 51, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85 y 259	Reparación del 2003
15.	Sustituir los gobernadores mecánicos hidráulicos por electrónicos en los Turbogeneradores de suministro de energía a los motores de las bombas ebuladoras 10G-16/17.	10	A	128	Reparación del 2003
16.	Instalar alarma por bajo flujo en el FR-40, FR-85, FV-14, FV-55, FI-167 y LV-2.	10	A	6, 7, 76, 237, 242, 243, 248, 249, 250, 251, 253, 254, 255 y 279	Reparación del 2003
17.	Instalar control de presión con respuesta rápida en la línea de descarga, transmisor de presión en la línea de succión, así como, alarma y disparo del motor por alta presión en la línea de succión y descarga de la bomba 10G-51*13.	10	A	242, 243, 244, 251, 258, 260, 261, 277 y 278	Reparación del 2003



No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escn.	Fecha
18.	Instalar alarma sonora por alto y bajo nivel de ebulación en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos actual.	9	A	96, 97, 98, 99 100, 101, 102, 103, 104, 106 y 115	Reparación del 2003
19.	Continuar dando el adiestramiento del procedimiento de emergencia para pérdida de ebulación en los reactores 10C-2 y 10C-3.	9	A	104 y 106	Continuo
20.	Modernizar: el sistema antisurge, el control de velocidad y la instrumentación en general del compresor 10K-2, así como del sistema de aceite de sellos	9	A	35, 36, 104 y 115	Reparación del 2003
21.	Asegurar la calidad del aceite de lavado y de sellos para las bombas ebuladoras 10G-16/17.	9	A	124 y 125	Inmediato
22.	Mejorar el sistema de transferencia eléctrica automática a los motores de las bombas ebuladoras 10G-16/17.	9	A	124 y 125	Reparación del 2003
23.	Habilitar las alarmas TA11-79-19 y 79-20 de las bombas ebuladoras 10G-16/17.	9	A	125	Reparación del 2003
24.	Instalar en el cuarto de control las señales de nivel de los siguientes tanques: 10C-4, 10C-5, 10C-6, 10C-9 y 10C-32.	9	A	129, 131, 133, 138, 139, 140, 144, 145, 146, 147, 148, 157, 158, 159, 160, 161, 186, 187, 188 y 189	Reparación del 2003
25.	Instalar un filtro en el sistema de gas de purga.	9	A	129, 131, 133, 135, 138, 139, 140 y 146	Reparación del 2003
26.	Instalar un compresor de aire de instrumentos confiable (libre de aceite).	9	A	82, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 138, 140, 141, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 171 y 172	Reparación del 2003
27.	Instalar filtros dobles en el sistema de aire de instrumentos, de aceite y de agua.	9	A	132, 157, 158, 160, 161, 162, 187 y 189	Reparación del 2003
28.	Instalar un control por alta presión en la HV-58.	9	A	134, 137, 151 y 152	Reparación del 2003
29.	Instalar alarma sonora por alta y baja presión en el 10C-4, 10C-5 y 10C-31 en el sistema de adquisición de datos.	9	A	3, 4, 5, 134, 135, 137, 151, 152, 153, 154, 155 y 156	Reparación del 2003
30.	Instalar celdas de alta presión de bajo rango para el control de nivel en el 10C-5.	9	A	145, 154	Reparación del 2003
31.	Dimensionar las válvulas de control FV-155.	9	A	154	Reparación del 2003
32.	Instalar alarma por alta y baja presión en los siguientes instrumentos: PRC-12, PRC-13, PRC-93, PIC-93, PIC-11, y PIC-76. Con señal al cuarto de control: PI-25, PI-224, PIC-24 y PC-29.	9	A	112, 135, 141, 151, 152, 154, 155, 156, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 190, 191, 193, 194, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 230, 231, 232, 233, 247, 248, 249, 250, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 259, 263, 264.	Reparación del 2003



No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escn.	Fecha
33.	Instalar infraestructura para medir temperatura, con alarmas por baja temperatura en la salida del fondo del 10C-6.	9	A	172	Reparación del 2003
34.	Instalar alarma por alto nivel en el LIC-10, LIC-124, por alto nivel de agua en el LC-69 y por alto nivel de aceite en el LIC-24.	9	A	144, 174, 199, 210, 211, 212 y 213	Reparación del 2003
35.	Instalar termopar y alarma por alta temperatura en la línea de llegada al 10C-56.	9	A	257	Reparación del 2003
36.	Instalar alarma por alta y baja presión diferencial en el PIDT-9 y PIDT 10, del 10C-53 y 10C-52 respectivamente.	9	A	258, 260, 261, 278 y 282	Reparación del 2003
37.	Instalar una válvula check independiente para sendas descargas de la bomba 10G-51 A/B.	9	A	244	Reparación del 2003
38.	Instalar transmisor de presión y alarma por alta y baja presión en los siguientes instrumentos: PI-221, PI-225, PI-226 y PI-222.	9	A	246, 252, 253, 254, 255, 256, 257, 259, 271, 279, 280 y 281	Reparación del 2003
39.	Dimensionar la TV-18 para utilizar el control de temperatura en automático.	9	A	246	Reparación del 2003
40.	Instalar disparo de la 10G-51 A/B en el PIC-76 por alta presión.	9	A	260, 261, 277 y 278	Reparación del 2003
41.	Instalar actuadores en las válvulas, de la 10G-51 A/B (con el objeto de automatizar su operación) y en las válvulas ubicadas en las líneas de entrada y salida de catalizador de los reactores 10C-2 y 10C-3.	9	A	263, 264, 266, 267, 272 y 273	Reparación del 2003
42.	Instalar control de presión de respuesta rápida en la línea de adición de catalizador.	9	A	263, 264 y 266	Reparación del 2003
43.	Instalar detectores nucleares en línea de llegada al 10C-53, en la línea de descarga del 10C-52, en la línea de extracción de catalizador (10-C-748-2''-H44) de los reactores 10C-2/3 y en la línea de adición de catalizador (10-C-704-2''-H44) a los reactores 10C-2/3.	9	A	260, 262, 268, 270, 272, 273 y 274	Reparación del 2003
44.	Instalar válvula bidireccional en lugar del macho 7 (4Q11).	9	A	262, 271	Reparación del 2003
45.	Instalar alarma por baja temperatura en el TI-10 y 11 (con señal al cuarto de control), a la salida del calentador 10F-2 y en la salida de vapores del 10C-32.	8	A	118, 119, 120, 136, 275 y 276	Reparación del 2003
46.	Tener una señal redundante de flujo mínimo del 10K-2.	8	A	115	Reparación del 2003
47.	Realizar el estudio pertinente para instalar aspersores internos en el domo del 10C-20 para limpieza de la malla.	8	A	29	Reparación del 2003
48.	Poner de forma permanente en el tablero una leyenda que indique "no accionar la válvula UVM-K2A/B durante la operación normal".	8	A	34 y 42	Inmediata



No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escn.	Fecha
49.	Habilitar los filtros para finos de catalizador y de material carboniceo en el cabezal preferente.	8	A	117 y 239	Reparación del 2003
50.	Instalar redundancia de las indicaciones del 10C-4.	8	A	135	Reparación del 2003
51.	Instalar en forma independiente las alarmas L.A11-65, L.A1-65, L.A11-66 y L.A1-66 del tanque 10C-32.	8	A	138, 139 y 140	Reparación del 2003
52.	Instalar alarmas sonoras por alto y bajo nivel, baja presión y alta temperatura en el 10C-32, en el sistema de adquisición de datos.	8	A	138, 139, 140, 141, 142 y 143	Reparación del 2003
53.	Instalar alarma sonora por alto y bajo nivel, alta y baja temperatura en el 10C-5, en el sistema de adquisición de datos.	8	A	144, 145, 147, 148, 149, 150 y 153	Reparación del 2003
54.	Instalar alarma por bajo nivel en el 10C-8, 10C-20, LC-69, LIC-10, LIC-12, LIC-124, por bajo nivel de agua en el LC-23 y por bajo nivel de aceite en el LIC-24.	8	A	147, 148, 176, 200, 201, 202, 215, 216 y 234	Reparación del 2003
55.	Cambiar el material de los tubos del soloaire 10E-2 por acero inoxidable.	8	A	153 y 224	Reparación del 2003
56.	Instalar alarma por baja presión diferencial entre el PIC-73 y el PRC-12.	8	A	159	Reparación del 2003
57.	Instalar switch de estado en las bombas 10G-3 A/B.	8	A	212	Reparación del 2003
58.	Contar con el refaccionamiento adecuado para poder dar confiabilidad en los soloaires.	8	A	222	Reparación del 2003
59.	Instalar alarma sonora por alta temperatura a la salida del 10E-2 y en los reactores 10C-2 y 10C-3, en el sistema de adquisición de datos.	8	A	108, 109, 110, 222 y 223	Reparación del 2003
60.	Incrementar el agua de lavado para asegurar que pase por todos los tubos del 10E-2, mejorando el desempeño de las bombas actuales.	8	A	224	Reparación del 2003
61.	Mandar señal del FI-259 A/B a cuarto de control.	8	A	225, 226 y 227	Reparación del 2003
62.	Disminuir la temperatura de agua de lavado debajo de 90 grados centígrados, para el 10E-2.	8	A	225	Reparación del 2003
63.	Cambiar de ubicación el posicionador de las válvulas FV-1/81 con el fin de evitar que la vibración dañe el circuito.	8	A	236, 237 y 241	Reparación del 2003
64.	Instalar disparo por alta vibración y alto desplazamiento en la bomba 10G-1 A/B.	8	A	235, 236, 237 y 239	Reparación del 2003
65.	Instalar disparo con redundancia por bajo nivel en el 10C-1.	8	A	236	Reparación del 2003
66.	Instalar eliminadores de pulsaciones en la succión y la descarga de la bomba 10G-51 A/B.	8	A	245	Reparación del 2003
67.	Instalar alarma por baja presión en el PRC-9, PRC-10, PI-169, PI-175.	8	A	27 y 113	Reparación del 2003



No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escn.	Fecha
68.	Instalar una segunda alarma de nivel independiente en el 10C-31.	7	B	1 y 2	Reparación del 2003
69.	Instalar alarma sonora por alto nivel en el 10C-31 en el sistema de adquisición de datos.	7	B	1	Reparación del 2003
70.	Verificar hermeticidad de válvulas de bloqueo de la instrumentación, para su mantenimiento.	7	B	2 y 13	Reparación del 2003
71.	Instalar una consola para monitorear caída de vástago y temperatura a cada una de las válvulas y chumaceras del compresor 10K-1 A/13.	7	B	16	Reparación del 2003
72.	Actualizar los procedimientos de acuerdo a los cambios operacionales que se vayan dando y conforme a esos cambios ir capacitando al personal.	7	B	13,16,17,18,20,21 y 22	Reparación del 2003
73.	Difundir a todos los involucrados en un incidente las causas que le dieron origen para evitar su repetición.	7	B	13, 16, 17 y 19	Continua
74.	Vigilar y registrar la diferencial de presión de manómetros de campo entre PI-167 y el PI-77.	7	B	27	Inmediata
75.	Realizar el estudio pertinente para instalar un circuito de purificación de hidrógeno para eliminar el sulfhídrico.	7	B	28, 43 y 46	Reparación del 2003
76.	Incrementar el tiempo de residencia del gas en el 10C-5.	7	B	43	Reparación del 2003
77.	Realizar un estudio para colocar la descarga de gas en el domo del 10C-5.	7	B	43	Reparación del 2003
78.	Realizar un estudio para instalar una malla demister en el 10C-5.	7	B	43	Reparación del 2003
79.	Realizar el estudio pertinente para modificar el diseño de los internos del 10C-5.	7	B	43	Reparación del 2003
80.	Instalar una derivación del producto emulsionado hacia el pozo caliente, en el sistema de baja presión.	7	B	196	Reparación del 2003
81.	Automatizar el control de nivel en el 10C-20 con señal desde el tablero.	7	B	228 y 234	Reparación del 2003
82.	Instalar alarma por alto flujo en el FR-40, FIC-1, FIC-81 y a la salida del 10F-1.	7	B	105, 237 y 241	Reparación del 2003
83.	1. Asegurar que se aplique en forma estricta el DG-GPASI-PI-5205.	6	B	26	Reparación del 2003
84.	Hacer el estudio para realizar la instalación para que entre en automático la bomba de relevo a falla de la bomba 10G-26.	6	B	50	Reparación del 2003
85.	Rehabilitar los TW's 5 y 6 del calentador 10F-2.	6	B	50	Reparación del 2003
86.	Rehabilitar el sistema de indicación de vacío (vacuómetros).	6	B	50	Reparación del 2003



No.	Recomendación	Riesgo	Clase	Escn.	Fecha
87.	Realizar inspección del cuerpo y del haz de tubos por el exterior, cada 3 años de operación (incluyendo prueba hidrostática, replicas metalográficas, calibración, etc) del 10E-40 A/B.	6	B	62	Reparación del 2003
88.	Instalar señal de nivel del LC-69 en el cuarto de control.	6	B	199	Reparación del 2003
89.	Instalar alarma sonora por baja y alta velocidad en la turbina del 10K-2.	4	B	35	Reparación del 2003
90.	Dar cumplimiento, en las fechas establecidas, al programa de limpieza preventiva de la malla de la succión del primer paso del compresor 10K-1.	4	B	8	Reparación del 2003
91.	Instalar alarma independiente de nivel en el 10C-18 A/B y el 10C-19 A/B.	4	B	13	Reparación del 2003
92.	Elaborar, por parte del personal operativo, una lista de verificación de nivel en el 10C-18 A/B y 10C-19 A/B y que se implemente en el patrullaje.	4	B	13	Inmediata
93.	Verificar y registrar las lecturas del nivel del acumulador de desfogue 10C-66.	4	B	14	Inmediata
94.	Asegurar que siempre se tenga disponible el compresor de relevo 10K-1 A/B.	4	B	15	Reparación del 2003
95.	Asegurar que operen adecuadamente las válvulas motorizadas cada vez que arranque la planta.	4	B	38	Reparación del 2003
96.	Verificar que en el procedimiento de paro de la bomba 10G-1 se diga: "Cerrar bloqueo de descarga antes de parar el equipo, cuando se haga cambio de bomba."	4	B	238	Marzo de 2002
97.	Asegurar que el laboratorio cumpla con la rutina de los análisis de composición de la carga.	3	C	19	Inmediato
98.	Controlar el peso específico, viscosidad y contenido de azufre en la carga.	3	C	19	Para el 2003
99.	Modernizar y poner en operación los detectores de gases tóxicos y combustibles (detectores de sulfídrico e hidrocarburo).	3	C	45	Reparación del 2003
100.	Asegurar que se tengan habilitadas la alarma CO2 AH-1.	3	C	108	Reparación del 2003
101.	Mantener la comunicación del personal de operación entre U9 y U10.	3	C	108	Inmediata
102.	Mantener la capacitación y adiestramiento al personal operativo.	2	C	60 y 61	Continua



4.2 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis de Consecuencias

Sin duda el análisis de consecuencias es otra herramienta valiosa dentro del Análisis de Riesgos y aunque por si sola no dice mucho puede ser de gran utilidad al aplicarla en conjunto con otras técnicas convirtiéndose en un indicador adicional de la importancia de la seguridad, mantenimiento y control que debe tener en algunos puntos del proceso, Aunque este tipo de escenarios son supuestos este análisis brinda abundante información de lo que podría suceder en caso de que se suscitara un accidente.

La probabilidad de que ocurran este tipo de eventos es mínima, es cierto, *pero puede suceder* y es por ello que es de vital importancia el continuar con los programas de mantenimiento preventivo y correctivo que han permitido evitar la ocurrencia de acontecimientos de este tipo.

Como observamos en el capítulo anterior el contar con un espacio abierto descartan la necesidad de hacer una estimación de una nube explosiva, siendo el caso de la flama jet el suceso con posibilidad de ocurrencia. Así entonces, de acuerdo a los resultados de los modelos aplicados al escenario planteado es posible dar algunas recomendaciones a fin de contribuir a la mejor respuesta del personal para el manejo del tanque 10C-5.

Tabla 4.2: Recomendaciones del Análisis de Consecuencias.

<i>Modelo aplicado al escenario</i>	<i>Recomendación</i>
Incendio y/o explosión de nube no confinada	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegurar el cumplimiento del mantenimiento predictivo a la corrosión de la línea de descarga de vapores del tanque 10C-5, para que cualquier fractura pueda ser detectada a tiempo. 2. Elaborar un plan de emergencia y rutas de evacuación, así como simulacros, con base a los resultados del análisis, estableciendo las zonas de seguridad. 3. Difusión de los riesgos de incendio y hacia todo el personal de la planta.

“No existe esfera de cristal que nos indique el futuro”, por ello se deben de tomar las precauciones necesarias para evitar cualquier tipo de accidentes.



4.3 Conclusiones y Recomendaciones del Análisis de Árbol de Fallas

La aplicación del árbol de fallas en equipos problemáticos o torales para el proceso es una forma efectiva de desglosar todas las causas que pueden estar dando origen a la falla analizada, ayudándonos a identificar el o los problemas de forma organizada, que pueden estar relacionados con el equipo o unidad de proceso a la que se le este aplicando la técnica. Sin duda el realizar un árbol de fallas para el compresor de gas de recirculación (10K-2) es de vital importancia puesto que este equipo es sumamente importante para el proceso, puesto que de él depende la continuidad del proceso. El desarrollo de este árbol de fallas es sin duda una contribución importante al Análisis de Riesgos en la plata de hidrodeseintegración catalítica ya que refuerza al análisis HazOp y al Análisis de Consecuencias, mostrando así, de forma esquemática y lógica todos los factores que puedan incidir o contribuir al desencadenamiento del “paro del compresor 10K-2”.

A continuación en la tabla 4.3 se presentan las recomendaciones resultantes del análisis de árbol de fallas, así como la causa que genera dichas recomendaciones. Cabe mencionar que algunas recomendaciones ya fueron planteadas en el análisis HazOp, por lo consiguiente no se mencionan en el análisis de árbol de fallas.

Tabla 4.3: Recomendaciones del Árbol de Fallas

	CAUSA	RECOMENDACIONES
1	Alta temperatura en el compresor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantener el nivel de aceite de lubricación, de acuerdo a las recomendaciones del fabricante y asegurar el buen funcionamiento del sistema de lubricación. 2. Dar mantenimiento al sistema de lubricación de acuerdo a programa. 3. Continuar con el mantenimiento preventivo/ predictivo de acuerdo a programa. 4. Continuar con el patrullaje operacional
2	Falla de mantenimiento.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegurar que el procedimiento de mantenimiento exista o sea el adecuado 2. Asegurar el cumplimiento total del mantenimiento. 3. Contar con refacciones adecuadas.
3	Válvula de purga abierta.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegurar el procedimiento de operación y mantenimiento. 2. Continuar con el patrullaje operacional.
4	Daño al sello.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Verificar la adecuada instalación del compresor. 2. Verificar que el sello sea adecuado y su instalación correcta. 3. Verificar la alineación de la flecha.
5	Falla de instrumentación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegurar el mantenimiento a instrumentos y lazos de control. 2. Contar con el refaccinamiento adecuado
6	Mala operación	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegurar el adiestramiento al personal de operación. 2. Asegurar el cumplimiento los procedimientos operacionales al 100%

Apéndice A

Probabilidad de Ocurrencia de Accidentes:

La probabilidad de ocurrencia de un accidente se puede determinar a partir de los registros históricos de incidentes o se puede obtener directamente de la experiencia vertida en el análisis HazOp.

Otro criterio para determinar la probabilidad de ocurrencia es la experiencia de gente que labora en la planta, la cual proporciona información más directa y específica sobre la frecuencia de ocurrencia de diferentes componentes y por ende se puede obtener un valor de probabilidad lo cual ayuda a construir una tabla como la siguiente:

Tabla A-1: Algunos Valores para Evaluar la Probabilidad de Ocurrencia.

Componente	Probabilidad
Falla de indicador de nivel.	8.7E-2
Falla operacional (equivocación, omisión)	1E-3
Falla de mantenimiento en general	1E-2
Falla de alarma por alto nivel	8.7E-2
Falla de alarma por alta presión	8.7E-2
Falla de bomba	1E-1
Falla de motor	1E-3
Error de operación	1E-1
Falla de diseño o deterioro durante su servicio	1E-1
Error de Inspección	1E-1

Existe también otra forma de obtener la probabilidad de ocurrencia del evento esta se obtiene de la experiencia profesional vertida por diferentes grupos y empresas, así como la encontrada en diferentes fuentes bibliográficas, en general en estos casos la tendencia general en la asignación de probabilidades esta representada por la tabla A-2.

Tabla A-2 Criterios para Evaluar la Probabilidad en Árbol de Fallas¹².

Probabilidad	Equivalencia de la probabilidad
10^0	Inminente (Puede ocurrir en cualquier momento)
10^{-1}	Muy probable (Ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10^{-3}	Probable (Ha ocurrido, o puede ocurrir en un año)
10^{-5}	Poco probable (Si no se ha presentado en 5 años)
10^{-7}	Improbable (No se ha presentado en 10 años)
10^{-9}	No hay posibilidad de que ocurra el riesgo.

Apéndice B

Desarrollo de las Ecuaciones para el árbol de Fallas con Álgebra de Boole.

$$T = M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + B1 + B2 + B3$$

$$T = (B4 + B5) + (B6 + M6 + B7) + (B8 + M7) + (B9 + M8 + B10) + B1 + B2 + B3 + (M4 + M9 + B11 + M10 + M11 + M12 + M13 + M14 + M15)$$

$$T = (B4 + B5) + B6 + M6 + B7 + B1 + B2 + B3 + B8 + M7 + M4 + M9 + B11 + M10 + M11 + M12 + M13 + M14 + M15$$

$$T = \sum_{i=1}^{15} B_i + (B16 * B17) + \sum_{i=21}^{32} B_i + M4 + M8 + M10 + \sum_{i=16}^{22} M_i$$

$$T = \sum_{i=1}^{15} B_i + (B16 * B17) + \sum_{i=18}^{36} B_i + (B37 * B38) + (B37 * B39) + M4 + M6 + M16 + M23$$

$$T = \sum_{i=1}^{15} B_i + (B16 * B17) + \sum_{i=18}^{36} B_i + (B37 * B38) + (B37 * B39) + B40 + (B22 * (B9 + B10 + B18 + B19 + B20))$$

Bibliografía:

1. The Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis

Center for Chemical Process Safety (CCPS) & Risk Assessment Subcommittee (RASC)
American Institute of Chemical Engineers (AIChE), 2000, New York, U.S.A

2. The Petroleum Handbook,

Compiled by Staff of the Royal Dutch / Shell Group of Companies
Elsevier Science Publishing Company, Inc , The Netherlands 1983
Sixth Edition

3. Introducción a la Química Industrial

Dr, Ángel Vian Ortuño
Reverté, S.A Barcelona España. Segunda Edición

4. Encyclopedic Dictionary of Named Processes in Chemical Technology

Alan E. Comyns
CRC Pres Second Edition, 1998

5. Hydrocarbon Processing

Refining 98, Hydrocracking, Nov 1998

6. Ebullated-Bed Reactor Technology

J.J Colyar
Industrial Division of IFP North America, Inc 1997

7. The H-Oil® PROCESS: A Worldwide Leader in Vacuum Residue Hydroprocessing

James J. Colyar and Lawrence I. Wisdom
HRI, Inc (a division of IFP Enterprises, Inc)
NPRA-National Petroleum Refiners Association 1997, Convention Center San Antonio, Texas

8. Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química

Santamaria, R
Fundación MAPFRE, España, 1994.

9. Refino de Petróleo: Tecnología y Economía

James H. Gary

Glenn E. Handwerk

Reverté. S.A, 1980 España

10. Rutinas Operacionales

Folleto de la Refinería "Ing. Antonio M. Amor"

PEMEX, Febrero de 1998

11. Análisis de riesgos HazOp, Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias del Circuito de Carga de una Planta Hidrodesulfuradora de Naftas.

Malvaez A. A. tesis de Licenciatura. Facultad de Química, UNAM. México, 2001

12. Criterios para Evaluar la Probabilidad de Ocurrencia en Árbol de fallas

Bufete de Profesionales en Seguridad Industrial. S.A de C.V

Curso de Análisis de Riesgos CONIC.

13. Tendencias Tecnológicas en el Hidroprocesamiento de Crudos y Fracciones Pesadas.

Castañeda López L. C, Instituto Mexicano del Petróleo y PEMEX Refinación

Memorias de la XXXIX Convención Anual, México León, Gto 1999.

14. Heavy Oil Processing- Progress and Outlook

Dickenson R. L, Karp A.D, Jonhson H.E Foro sobre los avances en la Industria de Refinación

PEMEX Refinación e Instituto Mexicano del Petróleo, México D.F 1998.

15. Principios Generales de la Ingeniería de Seguridad

Butron S. Arturo

Asociación Mexicana de Seguridad e Higiene. 1993.

16. Hydrocracking Science and Technology

Juluis Scherzer, A. J. Gruia

Marcel Dekker. 1996. NY. USA