



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

ANALISIS DE RIESGOS EN LA SECCION DE REACCION,
ESTABILIZACION Y LAVADO CAUSTICO DE UNA PLANTA
DE ISOMERIZACION.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A :
JESSICA MARGARITA DOMINGUEZ TORRES



MEXICO, D. F.



EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA

2002



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



JURADO ASIGNADO


Presidente: PROF. JOSE ANTONIO ORTIZ RAMIREZ
Vocal: PROF. EDUARDO MARAMBIO DENNETT
Secretario: MODESTO JAVIER CRUZ GOMEZ
1er Suplente: RAMON E. DOMINGUEZ BETANCOURT
2o. Suplente: JOSE LUIS LOPEZ MARTINEZ

LUGAR DONDE SE ELABORO EL TEMA

*Refinería "Antonio Dovali Jaime",
Salina Cruz, Oax.*

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

ASESOR




Dr. M. Javier Cruz Gómez

SUPERVISOR TÉCNICO



Ing. Ramón García Pineda

SUSTENTANTE



Jessica Margarita Domínguez Torres



DEDICATORIAS

A Dios,

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

A mis Padres,

Alfredo y Margarita, por todo el amor y abnegación que me han brindado durante estos nueve meses y veinticuatro años. Porque día a día me enseñaron lo que soy ahora y me dieron mas de lo que una hija puede pedir. Gracias por dejarme venir a este mundo, por haberme enseñado el sendero para poder descubrir este mundo, con todo el esfuerzo, sacrificio, dedicación y cariño que les implicó. Espero que siempre sepan que los adoro y que son los mejores padres del mundo.

A mis Hermanos,

Alfre y Rena, mis mejores amigos desde que nací, porque Dios me dio la dicha de tener a los mejores hermanos del mundo. Gracias por ser mis consejeros de cabecera y mis modelos a seguir. GRACIAS por brindarme todo su amor, hermandad y amistad.

A mis Amigos,

No se por donde empezar...pero como de alguna forma quiero hacerlo, lo haré por orden de aparición...

Angélica, gracias por tu amistad incondicional pues empezamos juntas esta historia en la facultad y la continuaremos toda la vida.

Dianis, July, Ruth y Lili, por haberme dejado entrar a sus vidas y por su invaluable amistad, por haber sido mis consejeras, por compartir los momentos de felicidad, tensión y tristeza. Gracias por el apoyo que me brindaron durante todo este tiempo, y por todos los momentos inolvidables que compartimos.

Gira, Nuria y Clau, por haberme permitido brindarles mi amistad, cariño y confianza, y por todos los momentos que hemos disfrutado juntas.

Pau y Chabe, por ser parte de este gran equipo que va mas allá de un partido de fútbol.

Arturo, por ser un gran amigo y del que estoy segura algún día desarrollará y publicará la ecuación maestra que resuelva los problemas de todo ingeniero químico

Gus, por darme tu cariño, amistad y comprensión de los que siempre estaré orgullosa de contar.

Mauricio, Fajardo, Adrian, Roberto y Guillermo, por brindarme su apoyo y amistad.

Ociel, Tona, Uriel Raúl, y Cuaxospa (José), porque siempre se las ingenian para alegrarle a uno el día y por la amistad que me han brindado.

Isma, Gollo, Edgar y Lore, porque siempre sé que estarán ahí para brindarme su amistad.

Lau, Chucho, Cinthia y Adrian, por todos esos momentos tan padres que convivimos juntos y porque se que su amistad es interminable.

Rey, Chris, Ana e Isra, por darme su confianza y porque sé que la amistad es la fuerza de un equipo.



Miguel Urbina, Miguelito, Mario, Diana, Normis y Ana Bermeo, *porque desde el primer semestre en esta facultad, sé que formamos una amistad que no terminará nunca.*

A las Chicas Superpoderosas y al Grupo Atlaco, *por hacer mas divertida, profunda, creativa y unida esta valiosa amistad que hemos formado y de la cual estoy muy orgullosa y soy muy feliz de pertenecer.*

Y a todos los chicos del CEASPA. Sony, Claus, Saúl, Omar, Ricardo, Braulio...y del Laboratorio Miguel, Mille, Aldo, Alfredo, Daniel, Sony, Miriam, Ramón...donde desarrolle este tema de tesis, por haberme dado su amistad, confianza apoyo e invaluables consejos.

Bere, Ari, Lulu, Ana María, Gina, Gaby, Lore, Mariana y Ruth, *por ser mis amigas desde la secundaria y preparatoria, que aunque ya cada quien sigue su camino, siempre las llevo en mi corazón.*

A mi abuelito Eugenio, *por consentirme y cuidarme siempre y por darme todo su cariño.*

A Richi, *mi tío consentido, por brindarme su cariño incondicional.*

A Lourdes y Agustín, *por haberme apoyado con sus consejos y material prestado desde que empecé esta carrera.*

A mis Tíos y Primos lindos, *que siempre llevo en mi corazón y pensamiento.*

Y a Jaz, *por ser la mitad que realmente me faltaba, por enseñarme lo que es el verdadero amor. Gracias por tu cariño incondicional, por hacerme tan feliz día a día, por apoyarme en todo momento e incluso en la realización de este trabajo, por compartirme tus sabios consejos, y por todo el amor que me has brindado.*

A todos ustedes gracias por estar siempre a mi lado y por ser parte de mi vida.

~ o ~

AGRADECIMIENTOS

A mis Profesores, *agradezco a todos mis profesores de toda mi vida académica por compartir sus conocimientos y experiencias y haber contribuido a formarme profesional y personalmente.*

Gracias Prof. José Antonio Ortiz, Prof. Eduardo Marambio, Prof. Ramón Domínguez, y Prof. José Luis López, *en especial les agradezco haberme dedicado su tiempo, compartido sus experiencias, y por hacerme sus recomendaciones para la elaboración de este trabajo.*

Gracias Dr. Javier Cruz, *por habernos dado la oportunidad y confianza de realizar este tipo de trabajo tan importante para la sociedad y para mi vida profesional.*

Gracias Ramón, *por ser mi asesor técnico, y porque siempre te dabas el tiempo y esfuerzo para ayudarme a corregir y sacar adelante este trabajo.*

Y por supuesto gracias a la Universidad Nacional Autónoma de México, *y muy especialmente a mi Facultad de Química, que me dio todo, desde mis amigos hasta mi profesión, Gracias porque hicieron posible que llegará este día y por hacer esta etapa de mi vida inolvidable. Gracias*

Gooya, Gooya, cahun cahun ra ra, cahun cahun ra ra, Goya, UNIVERSIDAD!



INDICE

<i>Tema</i>	<i>Pág.</i>
Capítulo I	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	3
1.2 Justificación	4
Capítulo II	
2. DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y PELIGROS	5
2.1 Antecedentes	5
2.2 Conceptos	7
2.2.1 ¿qué es un riesgo?	7
2.2.2 Análisis de riesgos	8
2.3 Técnicas para efectuar el Análisis de Riesgo	10
2.3.1 Códigos de seguridad	11
2.3.2 Revisiones de seguridad	12
2.3.3 Listas de Verificación	13
2.3.4 Análisis Histórico de Accidentes	14
2.3.5 Índice Dow y Mond	14
2.3.6 Análisis ¿Qué pasaría si?	15
2.3.7 Análisis de Modos de Fallas, Efectos y Criticidad	17
2.3.8 Análisis Preliminares de Riesgos	17
2.3.9 Análisis de Error Humano	18
2.3.10 Análisis de Árbol de Eventos	19
2.3.11 Análisis de Consecuencias de Incendios y Explosiones	19
2.3.12 Análisis de Árbol de Fallas	20
2.3.13 Análisis de Riesgos y Operabilidad	24
2.4 Clasificación de las Técnicas	26
2.5 Selección de la Técnica de Análisis	27
2.6 Importancia del Análisis de Riesgos y Peligros	28
Capítulo III	
3. DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ISOMERIZADORA	
3.1 Antecedentes	30
3.1.1 Refinación en México	30
3.1.2 Índice de octano	31
3.1.3 Reformulación de gasolinas	32
3.1.4 Importancia de una Planta Isomerizadora	34
3.2 Isomerización	35
3.2.1 Isómeros	36
3.2.2 Isomerización catalítica	37
3.2.3 Mecanismos de Reacción catalítica Friedel-Crafts	38
3.2.4 Sustancias Involucradas	41
3.2.5 Catalizador	43
3.2.6 Reacciones Secundarias en el Proceso de Isomerización	44



3.3 Descripción de Equipos	45
3.3.1 Reactores	45
3.3.2 Torre Estabilizadora	46
3.3.3 Torre Lavadora	46
3.3.4 Cambiadores de Calor	46
3.3.5 Bombas	47
3.4 Descripción del Proceso	48
3.4.1 Actualización de Diagramas	49
DFP de la Planta Isomerizadora	51
3.4.2 Sección de Reacción	52
3.4.3 Sección de Estabilización	53
3.4.4 Sección de Lavado Cáustico	54
Capítulo IV	
4. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PLANTA ISOMERIZADORA Y RECOMENDACIONES	57
4.1 Resultados	57
4.1.1 Comparación de las Técnicas de Análisis	57
4.1.2 Resultados del Análisis de Consecuencias	61
4.1.3 Resultados del Análisis de Árbol de Fallas	69
4.1.4 Resultados del Análisis de Peligros y Operabilidad	75
4.2 Consideraciones de Seguridad	91
Capítulo V	
5. CONCLUSIONES	94
ANEXO	
Lista de Abreviaturas	98
Diagrama del análisis de árbol de fallas por alta presión de la DA-901	99
Diagrama del análisis de árbol de fallas simplificado por alta presión de la DA-901	100
DTI de la Sección de Reacción 1ª parte	101
DTI de la Sección de Reacción 2ª parte	102
DTI de la Sección de Reacción Inyección de Cloruros	103
DTI de la Sección de Estabilización	104
DTI de la Sección de Lavado Cáustico	105
Diagrama del análisis de consecuencias de la localización de áreas de afectación por fuga del DC-901	106
GLOSARIO	107
SIMBOLOGIA DE DIAGRAMAS	109
BIBLIOGRAFÍA	110
JURADO ASIGNADO	I
DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS	II
INDICE	IV
INDICE DE TABLAS	VI



INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Técnicas de Análisis de Peligros y Riesgos.	11
Tabla 2	Códigos y Normas Internacional y Nacionales.	11
Tabla 3	Aplicación del Análisis ¿Qué pasaría si ...	16
Tabla 4	Representación de los Términos del Árbol de Fallas.	22
Tabla 5	Equivalencia Lógica del Álgebra Booleana y Lineal.	23
Tabla 6	Propiedades del Álgebra Booleana.	23
Tabla 7	Palabras Guía para Localizar Desviaciones o Causas.	25
Tabla 8	Criterios para Seleccionar la Técnica de Análisis .	28
Tabla 10	Escala Arbitraria de Octanaje.	31
Tabla 11	Propiedades de los Pentanos.	42
Tabla 12	Propiedades de los Hexanos.	43
Tabla 13	Cambiadores Calor de una Planta Isomerizadora.	47
Tabla 14	Bombas de una Planta Isomerizadora.	48
Tabla 15	Tabla de Diagramas de una Planta Isomerizadora.	50
Tabla 16A	Técnicas Contra Etapas de Ingeniería.	57
Tabla 16B	Técnicas Contra Alcances y Resultados.	58
Tabla 17	Técnicas Contra Disponibilidad de Herramientas.	59
Tabla 18	Técnicas Contra Objetivo.	59
Tabla 19	Composición de la Mezcla Explosiva de C_3 's y C_6 's.	63
Tabla 20	Propiedades Explosivas de la Mezcla.	63
Tabla 21	Características del Reactor.	63
Tabla 22	Escenario.	64
Tabla 23	Condiciones de Clima.	64
Tabla 24	Estabilidad Pasquill.	64
Tabla 25	Resultados Suministrados por el PHAST.	65
Tabla 26	Modelo de Dispersión.	65
Tabla 27	Modelo Jet Fire (Dardo de Fuego).	65
Tabla 28	Modelo Explosión TNT.	65
Tabla 29	Probabilidades del Evento Básico.	71
Tabla 30	Probabilidad de Ocurrencia vs Frecuencia.	72
Tabla 31	Probabilidad de Ocurrencia del Conjunto Mínimo.	73
Tabla 32	Relación de Diagramas Usados para el HazOp.	76



Capítulo I INTRODUCCIÓN

Los alquimistas de la edad media creían que para lograr la transmutación de metales como el plomo, sin gran valor, en oro o plata había que agregar y combinar una cantidad justa de mercurio para lograr la transmutación. Por otro lado también pensaban que para que esta reacción se efectuara, tendría que ocurrir en presencia de un catalizador al que se llamó piedra filosofal. La historia de la alquimia es básicamente la búsqueda de este catalizador. Continuamente estamos buscando transformar las sustancias que nos da la naturaleza, en otras sustancias que mejoren la calidad de la vida humana, ya sea en salud o tecnología.

La química juega un papel muy importante en la vida moderna y lo seguirá haciendo en los próximos años. Los productos químicos son esenciales si la población mundial debe ser vestida, alimentada y resguardada. Las reservas mundiales de combustibles fósiles se irán eventualmente agotando y nuevos procesos y materiales proveerán al mundo futuro de fuentes de energía alternativa.

Como es el caso de la producción de nuevos combustibles más eficientes y con una menor tasa de contaminación, que combinados con motores más eficientes disminuirán la contaminación provocada por los combustibles. Un descubrimiento reciente en éste campo fue la nafta sin plomo, y las parafinas ramificadas. El reto más importante para la industria de *refinación nacional* en mediano plazo, es reducir los niveles de azufre en la gasolina, con el fin de lograr una mejor operación de los dispositivos anticontaminantes (convertidores catalíticos). La *Planta isomerizadora* contribuye a la producción de componentes de las gasolinas reformuladas, como el 2,3-dimetil butano e isopentano.

Sin embargo, la gasolina y el diesel no son todo el problema del deterioro de la calidad del aire, sin duda su calidad juega un papel preponderante, es necesario contar con la tecnología de los vehículos (automóviles y aviones) y los dispositivos anticontaminantes, que sumados permitan reducir las emisiones por kilómetro recorrido, para día a día poder establecer una normatividad más estricta cuyo resultado final sea una mejor calidad del aire en el país.

Como profesión, la *ingeniería química* aplica los principios físicos y químicos a los sistemas en los que la materia se transforma para cambiar de estado, composición o contenido de energía, usando herramientas necesarias (como matemática, computación, etc.). Esto es con el fin de obtener y proporcionar a gran escala los productos que genera la industria química, para satisfacer la demanda de la sociedad. Tal es el caso de la industria petroquímica, integrada por empresas que transforman el petróleo y



el gas mediante procesos físicos y químicos, primero en derivados del gas natural, etileno, propileno, butadieno, compuestos aromáticos, para después ser convertidos en fertilizantes, fibras artificiales o sintéticas, resinas, combustibles, gasolinas, entre otros productos tan útiles y necesarios en la actualidad.

La actividad del ingeniero químico es muy versátil, para ello debe tener la habilidad para resolver problemas, buscando la respuesta para obtener un producto o dar un servicio eficiente y oportuno. Por lo que debe utilizar la observación, el análisis, la síntesis, la creatividad y la evaluación, para tomar decisiones bajo presión de tiempo y elegir la mejor alternativa. Entre otras actividades que desarrolla el ingeniero químico están: poder crear e innovar sistemas y procesos más eficientes, contribuir en las fases de diseño, construcción, instalación, arranque y operación de un proyecto industrial. Debe buscar la eficiencia y optimización en la producción, sin crear condiciones de riesgo para evitar daños ecológicos y a la salud. Por ello el ingeniero químico se preocupa y ocupa por administrar y supervisar el buen funcionamiento de la operación de un proceso para garantizar la calidad del producto y la seguridad de las personas, del medio ambiente y de la propia industria.

Recordando accidentes industriales en nuestro país encontramos: el ocurrido en la Ciudad Petrolera en Poza Rica, Veracruz (1950) en el que se apagó un mechero de uno de los quemadores de gas durante una inversión térmica, el cual estaba muy cercano a la población y ocasionó la muerte a 22 personas entre otros desastres. O el de la explosión en San Juan Ixhuatpec (San Juanico) de varios contenedores de gas LP que causó la muerte a más de 600 personas y cuyas pérdidas económicas ascendieron hasta 20 millones de dólares, en el Distrito Federal (1985). Y donde un derrame de gasolina en un sistema de drenaje urbano desencadenó una serie de explosiones a lo largo de varios ductos, ocasionando 200 muertes y 1500 heridos, así como cuantiosas pérdidas materiales en Guadalajara (1992).

Por ello la labor del ingeniero además de producir, también es prevenir o mitigar incendios, derrames, explosiones y fugas de aquellas sustancias peligrosas catalogadas como *Sustancias CRETIB* (Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables y Biológico- infecciosas) que fuera de control pongan en riesgo al proceso y a la planta misma, y a su vez puedan provocar un daño a la salud y a la ecología. Las acciones para prevenir los riesgos en las industrias se efectúan desde las etapas de diseño y mantenimiento hasta las de operación de una planta química.

Como también otro de los fines del ingeniero químico es el minimizar los costos que genere el proceso, deben ser evitadas las cuantiosas pérdidas materiales originadas de un accidente que se traducen en millonarias pérdidas económicas. De aquí surge la necesidad de realizar análisis de riesgos en aquellos procesos que involucren sustancias químicas factibles de generar un accidente o incidente.



Para dar una idea del problema de los accidentes químicos en el país, entre 1990 y 1993, los agentes químicos involucrados fueron: gas combustible, gasolina, amoníaco, combustóleo, cloro y sus compuestos, y diesel. Otras sustancias frecuentemente involucradas con accidentes fueron: los disolventes, ácido sulfúrico, petróleo crudo, hidróxido de sodio, formol, cloruro de vinilo, acrilonitrilo, ácido acético, plaguicidas, alcohol metílico, mercaptanos, ácido fosfórico, aceites industriales, turba cina y tolueno. (Ref. 21)

La *administración de la seguridad* es una base firme que establece una infraestructura encaminada a la efectiva administración de una industria. Por ello se está haciendo obligatorio el análisis de riesgos en las industrias. Una cultura fuerte en seguridad, salud y protección ambiental sustenta un sólido sistema de administración, dentro del cual destaca la participación y el compromiso de las empresas, quienes son responsables de eliminar las lesiones, reducir los incidentes ambientales, las emisiones totales y los desechos peligrosos, dando como resultado importantes ahorros para la industria.

1.1 OBJETIVOS

Debido a la gran relevancia que tiene el análisis de riesgos para la prevención, mitigación y eliminación de accidentes industriales, el presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

1. Describir las técnicas de análisis de riesgos.
2. Describir el proceso de las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico de una planta isomerizadora, así como su importancia en la industria química.
3. Actualizar los diagramas de flujo de proceso y diagramas de tubería e instrumentación de las secciones mencionadas de la planta isomerizadora.
4. Seleccionar las técnicas de análisis de riesgo para realizar el análisis de riesgos en este trabajo. Y evaluar los riesgos potenciales en las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico de una planta isomerizadora.
5. Exponer los resultados encontrados del análisis de riesgos de las secciones mencionadas. Y proporcionar las posibles recomendaciones del proceso, mantenimiento y operación de las secciones mencionadas de la planta isomerizadora.

Para cumplir con estos objetivos en los siguientes capítulos se trata lo siguiente:



En el segundo capítulo, *“Descripción de las técnicas de análisis de riesgos”*, se pretende profundizar sobre la importancia de realizar el análisis de riesgos, además de mostrar algunas técnicas que nos permiten efectuarlos, para después poder elegir los más factibles para el análisis de las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico de una planta isomerizadora. En el tercer capítulo, *“Descripción de la Planta Isomerizadora”*, se describe el panorama de la refinación en nuestro país, su importancia y perspectivas para mejorar la calidad de los productos de refinación entre otras cosas, para después poder explicar la importancia de uno de sus procesos más importantes para la reformulación de gasolinas, que se lleva a cabo en la planta isomerizadora. Se pretende explicar el fundamento, proceso e importancia de la planta, la cual es el objeto de estudio para evaluar los riesgos: aquí también se describirán los equipos críticos de riesgo, se actualizarán en campo y exhibirán los diagramas de flujo de proceso y los diagramas de tubería e instrumentación de las secciones a analizar. En el cuarto capítulo, *“Resultados del análisis de riesgos de la planta isomerizadora”*, se compararán las técnicas de análisis de riesgos, para hacer la selección de la técnica a utilizar; y se detallarán los resultados obtenidos de cada técnica de análisis: así como las recomendaciones observadas globales para mejorar las condiciones de operación y mantenimiento de las secciones mencionadas de la planta isomerizadora.

1.2 JUSTIFICACIÓN

El análisis de riesgos en las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico de una planta isomerizadora se efectúa, para contribuir a la protección de la planta de los posibles riesgos a los que puede estar expuesta por fallas en el proceso, operación o mantenimiento. Además, de que el fin implícito es proteger la salud y vida de los operadores y población aledaña a la planta; así como también al medio ambiente, cumpliendo con las normas internacionales y nacionales. Se expondrá la importancia y proceso de la planta isomerizadora a la cual se le realizará el análisis de riesgos; las diversas técnicas de análisis de riesgos se describirán y compararán para seleccionar las que serán de utilidad para evaluar los riesgos en una planta isomerizadora.

Como ya se mencionó, el análisis se realizará para las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico. Aquí se dirá como se llegó al análisis de estos equipos críticos, como se realizó el análisis y se darán las recomendaciones que se generen de este análisis, para colaborar a que una planta isomerizadora opere adecuadamente y para evitar o disminuir los indeseables accidentes que se pudieran propiciar.



Capítulo II

DESCRIPCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

2.1 ANTECEDENTES

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

El análisis de riesgos cubre esencialmente dos tipos de actividades: la *evaluación de riesgos* y la *administración de riesgos*. La primera esta enfocada a determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento que genere un accidente y determinar en cuanto valoran las personas las situaciones alternativas que involucren diferentes niveles de riesgo. La segunda se refiere a las políticas externas e internas de la planta, que tiene como objetivo la reducción de riesgos a los cuales se exponen los seres humanos principalmente; además realizan estudios de riesgo-beneficio. (Ref. 5)

Por ejemplo, los estados de la República Mexicana con mayor concentración industrial como el Distrito Federal, Estado de México, Jalisco, Puebla y Veracruz, han sido de las entidades federativas más afectadas por accidentes químicos, lo cual coincide con la densidad industrial en esas entidades. Con mayor frecuencia, los accidentes han ocurrido al interior de las instalaciones industriales. Antes no existía un registro de accidentes y los datos citados provienen de un estudio realizado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) con el propósito de establecer una base de datos al respecto. El CENAPRED está integrado al Programa Nacional de Protección Civil, de la Secretaría de Gobernación, y cuenta con un grupo dedicado a realizar estudios y proporcionar capacitación en relación con riesgos químicos. (Ref. 21)

El Reglamento en Materia de Impacto Ambiental, que deriva de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), contiene disposiciones relativas a la obligación que tienen las empresas, que manejen sustancias altamente riesgosas, de realizar análisis de riesgos para definir y establecer medidas para prevenir accidentes y desarrollar acciones de prevención y combate en caso de accidentes. (Ref. 27)



El Instituto Nacional de Ecología, a partir de 1992, implantó un Programa Nacional de Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental (PRONAPAARA) y Comités Ciudadanos de Información y Apoyo para Casos de Prevención y Atención de Riesgo Ambiental, con el propósito de promover la participación ciudadana en acciones para prevenir y reducir riesgos. Las empresas, por su parte, han establecido programas específicos para la atención de accidentes al interior de las plantas y liberación de sustancias al exterior. (Ref. 22)

La Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), dependiente de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), promueve por su parte el desarrollo de programas voluntarios de auditorías industriales, que también contribuyen a reducir los riesgos de accidentes. (Ref. 26)

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

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

Las normas internacionales como la API (American Petroleum Institute) RP 750 del Instituto Americano del Petróleo (API) y PSM (Process Safety Management) 29 CFR 1910.119 de la Agencia de la Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA) de los Estados Unidos, exigen la realización de análisis de riesgo en los procesos de muchas instalaciones, el cual es un estudio organizado para identificar las deficiencias del diseño y la operación de un proceso, que pueden ocasionar serias consecuencias, como heridas al personal, daños al equipo, daños al proceso, daños a la planta en general, etc. (Ref. 16)



El análisis de riesgos debe ser realizado por un equipo multidisciplinario, debe incluir personal con experiencia en las áreas de ingeniería, operaciones y mantenimiento, para que aplique una combinación de técnicas de análisis. Además debe incluir por lo menos un empleado con conocimiento específico acerca del proceso que está siendo evaluado y un facilitador con el conocimiento de las metodologías utilizadas en el análisis.

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

2.2 CONCEPTOS

2.2.1 ¿Qué es un riesgo?

Antes de definir lo que es el análisis de riesgos, es necesario aclarar qué es el concepto de riesgo, pues suele confundirse con peligro o accidente. Un *accidente* es cualquier evento que desvía las condiciones regulares de un sistema, provocando situaciones adversas al sistema, a personas, al medio ambiente o a la propiedad. El término *peligro* es la condición física y/o química inherente que produce efectos adversos (daños) a un sistema, a personas, al medio ambiente o a la propiedad. El término *riesgo* es la manera de expresar, como en términos de probabilidad, la posibilidad de que dichos efectos causen pérdidas a los sistemas, a personas, al medio ambiente o a la propiedad. (Ref. 15)

Usualmente, los términos peligro y riesgo se usan como sinónimos, sin embargo son conceptos diferentes, ya que el peligro es la condición para que un daño se produzca y el riesgo es la manera de indicar la posibilidad de que un daño se produzca.

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

- El riesgo de seguridad que consiste en determinar la probabilidad de que se produzca un riesgo mecánico, eléctrico o químico (incendio, explosión, liberación de una sustancia tóxica) y que estos, puedan afectar a una persona que se encuentre en el área en peligro.
- El riesgo económico que consiste en determinar la probabilidad de que se produzca una interrupción del servicio y sus consecuencias económicas, sociales y ambientales. Las consecuencias catastróficas se pueden traducir en las pérdidas económicas las cuales incluyen los costos por:



Tabla 1. Pérdidas Económicas de los Riesgos
Costos de restauración del medio ambiente
Daños a la propiedad
Pérdida de prestigio o imagen pública
Pérdida de utilidades ocasionada por la suspensión del transporte
Pérdidas de producto
Responsabilidad jurídica por pérdidas humanas o daño ambiental

2.2.2 Análisis de Riesgos¹

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

De este procedimiento, se obtiene información sobre los peligros y riesgos que no han podido eliminarse y sobre las medidas preventivas más adecuadas que deberían adoptarse y que deben ser realizadas inicialmente por todas las industrias.

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

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

¹ En el presente documento la palabra riesgos, englobará los conceptos de riesgos y peligros, pero cuando se hable de riesgo y peligro singularmente se referirá a cada término por separado, esto es con el fin de no ser repetitivo y confundir mas al lector.



La evaluación de los riesgos también sirve para diseñar estrategias de prevención de riesgos para la salud humana, estableciendo los límites de concentración de tóxicos en la fuente ² los cuales no se deben exceder, para que la población posiblemente receptora no esté expuesta a un peligro extremo. Este dato es una restricción a considerar en el diseño del proceso.

Cuando se está trabajando en el diseño de procesos o de productos no se ha presentado todavía el problema de la contaminación misma y es necesario simularla. Se necesita conocer la toxicidad de las sustancias involucradas en el proceso y el comportamiento de los desechos en el medio ambiente. Se necesita simular el transporte y destino de las sustancias, estimando cuál podría ser la permanencia de los desechos en el ambiente, a que medios podría emigrar y los riesgos que significarían estas sustancias para las poblaciones que fueran afectadas. Orientar los esfuerzos para evitar la contaminación es, por sentido común, más conveniente que esperar a que ésta se produzca y entonces tratar de eliminarla.

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

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

1. **Identificar los peligros:** mediante la experiencia que se tenga de un proceso determinado se pueden cuestionar todas las circunstancias que den lugar a un accidente, ya sea que los produzcan de manera inminente o que tengan la probabilidad de producirse. Aquí es la parte donde el análisis debe hacerse de manera exhaustiva para evitar olvidar situaciones que pongan en riesgo el proceso o la planta.
2. **Analizar las consecuencias:** se relaciona el efecto previsto con la causa que lo origina de manera que estos se puedan cuantificar; se describe el escenario con las condiciones y los factores externos

² determinados por la NOM-018-STPS-2000 (Sistemas para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo)



que estén involucrados. Como el tiempo de respuesta de los operadores al detectar el accidente o desviación, la cercanía de los equipos y líneas de proceso con el área en riesgo o la operabilidad inadecuada del proceso, entre otros.

3. **Cuantificar los riesgos:** mediante las herramientas estadísticas de frecuencia y/o probabilidad, que se pueden traducir en términos económicos, se pueden cuantificar los eventos que se produzcan en función del tiempo, como los riesgos que se den en 5 años o a lo largo de la vida útil de la planta. Así podremos determinar la prioridad de la acción para mitigar la ocurrencia de los riesgos de acuerdo a su gravedad y frecuencia.
4. **Tomar decisiones para reducir los riesgos:** después de que se tiene identificado el peligro, se debe tomar una decisión que implica estimar la magnitud de las consecuencias que pueden derivarse de un accidente y de la probabilidad de que se lleve a cabo. Aquí se deben proponer las recomendaciones para eliminar el posible riesgo o reducir su origen. (Ref. 15)

2.3 TÉCNICAS PARA EFECTUAR EL ANÁLISIS DE RIESGO

A continuación se explicarán las técnicas de análisis de peligros y riesgos que dan lugar a los accidentes en las industrias petrolera y petroquímica. El propósito de la evaluación de riesgos es identificar posibles accidentes, determinar sus causas y consecuencias. Como ya se dijo anteriormente, un *accidente* es una secuencia de sucesos imprevistos que provocan consecuencias no deseadas. Generalmente existe un suceso iniciador y otros intermedios entre éste y la aparición de la consecuencia. Estos sucesos intermedios son las respuestas del sistema (automáticas y manuales) ante el suceso iniciador. Por tanto, el mismo suceso iniciador puede provocar consecuencias distintas en función de las intermedias.

El aporte de las metodologías radica en apoyar a la ingeniería de proyectos, con herramientas especializadas de identificación y evaluación para caracterizar los riesgos en las diferentes fases de desarrollo de un proyecto. Cada uno de los métodos de evaluación de riesgos que se analizarán más adelante, tiene aspectos comunes y diferenciados entre ellos. Con el tiempo se han elaborado diferentes procedimientos para identificar peligros y evaluar riesgos, pues las necesidades son muy diversas. En la actualidad se han desarrollado software especializados para apoyar y facilitar herramientas a los realizadores de estos estudios; sin embargo todos tienen el mismo fin: evaluar las causas y circunstancias que originen riesgos potenciales en las industrias químicas. Entre las técnicas de análisis podemos mencionar las siguientes: (Ref. 1)



Tabla 2. Técnicas de Análisis de Peligros y Riesgos	
Análisis de Peligros	Análisis de Riesgos
<ul style="list-style-type: none"> • Códigos de seguridad • Revisiones de seguridad • Listas de verificación • Análisis históricos de accidentes • Análisis ¿Qué pasaría si? • Análisis preliminar de peligros • Análisis de error humano • Análisis de peligros y operabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice Dow y Mond • Análisis de modos de fallas, efectos y criticidad • Análisis de árbol de eventos • Análisis de Consecuencias de Incendios y Explosiones • Análisis de árbol de fallas

2.3.1 Códigos y Normas de Seguridad

Son los estatutos que dictan el procedimiento para efectuar la técnica de análisis para la evaluación de una planta de determinado proceso, las cuales se basan en normas internacionales, nacionales, locales y estándares complementados con la experiencia. Con el fin de dar los lineamientos para el diseño, fabricación, distribución, instalación, operación, modificación y desmantelamiento de la planta; esto mediante el apoyo de los manuales de operación. Entre los códigos mas importantes a nivel internacional, se encuentran: (Ref. 15)

Tabla 3. Códigos y Normas Internacionales y Nacionales	
Códigos y Normas	Ejemplos
API (American Petroleum Institute).	API 750 "Manejo de Procesos Peligrosos" (Management of Process Hazards). API 2001 "Protecciones contra incendios en Refinerías" (Design and Installation of Pressure Relief Systems in Refineries).
ASME (American Society of Mechanical Engineers)	Código ASME para calentadores y recipientes a presión (Boiler and Pressure Vessel Code). Código ASME para tuberías (Code for Pressure Piping).
NFPA (National Fire Protection Association)	NFPA 30. Código para líquidos inflamables y combustibles (Flammable and Combustible Liquids Code). NFPA 49. Datos de sustancias químicas peligrosas (Hazardous Chemical Data).



ISO (International Organization for Standardization)	ISO 9001. "Sistema de Calidad. Modelo para el Aseguramiento de Calidad en Diseño, Desarrollo, Producción, Instalación y Servicio". ISO 9003. "Modelo para el Aseguramiento de la Calidad en inspección y pruebas finales". (Ref. 24)
LEEGEP (Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente)	Art. 1°. Preservación y restauración del equilibrio ecológico, protección al ambiente, en el territorio nacional. Art 15°. Formulación y conducción de la política ambiental y la expedición de normas oficiales mexicanas y demás instrumentos previstos en esta Ley. (Ref. 27)
NOM (Normas Oficiales Mexicanas)	NOM-018-STPS-2000. Se refiere a la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. NOM-100-STPS-1994. Se refiere a la seguridad en extintores contra incendios a base de polvo químico seco. NOM-086-ECOL-1994. Que indica que se debe regular la calidad de los combustibles para el servicio automotriz, doméstico e industrial.

2.3.2 Revisiones de Seguridad

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

Realiza un examen periódico para plantas de alto riesgo, para verificar el cumplimiento de las especificaciones y normas de seguridad generalmente en las etapas de diseño. Estas revisiones las realiza un equipo con experiencia, que audita los estándares de diseño y que visita la planta en construcción para entrevistar a determinadas personas y verificar el cumplimiento de los procedimientos y estándares de seguridad. Su objetivo es asegurar la implantación de las medidas de mitigación, mantener al personal de planta informado de los peligros del proceso, identificar equipos y cambios que pudieran haber introducido nuevos peligros desde la última revisión de seguridad e implementar en lo necesario nuevas tecnologías y normas de seguridad. Generalmente se realiza en las etapas de ingeniería siguientes:



- Básica y Detalle: para verificar el cumplimiento de los estándares y normas de seguridad.
- Construcción y Montaje: para revisar periódicamente los métodos constructivos críticos
- Puesta en Marcha: para realizar las pruebas de equipos críticos en vacío y con carga.
- Operación: para verificar el buen funcionamiento en las plantas de alto riesgo.

Se realiza principalmente para plantas piloto, laboratorios, áreas de almacenamiento o áreas de servicio. Aquí se contempla toda la planta, desde su equipo, instrumentación, accesorios y protecciones hasta áreas de mantenimiento y áreas de servicio (zonas de seguridad, higiene industrial, tratamiento y área de salud). Cuestiona a los ingenieros de todas las áreas de la planta: operación, mantenimiento, ingeniería, administración y seguridad. Observa todas las rutinas de operación (como la descarga de químicos de carros tanque) y las actividades no rutinarias (como el reemplazamiento de todos los tubos de un intercambiador de calor de tubos y coraza). También evalúa los conocimientos y entrenamiento de todo el personal de la planta, por lo que se requiere la cooperación individual y grupal de estos. Este análisis se lleva a cabo en tres etapas: preparación del examen, ejecución del examen, y la documentación de resultados. (Ref. 1)

2.3.3 Lista de Verificación

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

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



Las listas de verificación se utilizan para comprobar el cumplimiento de estándares de diseño y de regulaciones de seguridad. Puede ser empleada en cualquier etapa del proyecto o en las instalaciones de un proceso existente. Deberá realizarla un ingeniero experto familiarizado con el funcionamiento de las instalaciones y que sea conocedor de los procedimientos, normas y reglamentos de seguridad. Una vez realizada la lista deberá auditarse (a comentarios) y actualizarse. Su objetivo es identificar riesgos simples y asegurar el cumplimiento con la normativa y estándar en las etapas de: perfil, conceptual, básica, detalle, construcción, puesta en marcha y operación, en las que se tiene que verificar en forma rápida y simple el cumplimiento de especificaciones de diseño y la aplicación de normas de seguridad.

Sus resultados incluyen la identificación de procesos y sus variables críticas, procedimientos, normas de seguridad y verificar cumplimientos con estándares. Así como también la identificación de situaciones que requieren una evaluación detallada. Se recomienda registrar los resultados en un formulario. Dada la facilidad de esta técnica, es relativamente rápida, es uno de los métodos de evaluación de peligros más rápidos y baratos. (Ref. 1)

2.3.4 Análisis Histórico de Accidentes

En este tipo de análisis se requiere de la información basada en la experiencia que está compilada en datos del pasado sobre incidentes y accidentes industriales, ya que estos identifican los peligros concretos e inminentes. Las fuentes pueden ser datos propios de la compañía, prensa, entrevistas a testigos o informes de investigación, bibliografía especializada, bancos de datos de accidentes, informes de peritajes. El investigador debe tener un criterio, para discernir entre las contradicciones que se dan entre las diferentes versiones de un accidente o incidente en el área analizada. Generalmente, la teoría que requiere menos suposiciones es la correcta. El informe de este análisis debe contener: (Ref. 15)

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

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

2.3.5 Índices Dow y Mond

Los índices de Dow y Mond son métodos útiles que proporcionan una jerarquización (ranking) o índice relativo de los riesgos relacionados a la planta, particularmente para incendios y explosiones. El



método asigna penalizaciones y bonificaciones según las características de la planta. Las penalizaciones se asignan por las condiciones de la planta que puede contribuir a que ocurra un accidente, como: las características de la reacción, severidad de parámetros de operación; cantidad de producto involucrado, efectos dominó, etc. Las bonificaciones se otorgan por las características de la planta de que puedan mitigar los posibles accidentes, como: condiciones de seguridad de la unidad, sistema de emergencia, control, contención, protección contra incendios, etc.

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

Su objetivo es el de proporcionar un indicador (ranking) en función del índice de riesgo obtenido, cuando se evalúan las etapas de diseño (para identificar áreas vulnerables y medidas de protección) y en operación.

Requiere de los conocimientos precisos de las condiciones de operación de la unidad. Además hay que conocer perfectamente los métodos así como los gráficos, tablas y fórmulas disponibles. Este tipo de análisis requiere de la ayuda de un ingeniero familiarizado con la química del proceso y es importante que todas las unidades que vayan a formar parte del ranking final estén evaluadas por el mismo técnico. Además depende del número de unidades escogidas para la evaluación. La evaluación de cada unidad conlleva entre uno y tres días dependiendo de la información recibida. (Ref. 15)

2.3.6 Análisis ¿Qué pasaría si?

Este análisis se conoce como el análisis *What if?*, que en español se hace la pregunta ¿Qué pasaría si? Cuestionando hipotéticamente, cualquier evento. Requiere de mayor experiencia en el área de accidentes y peligros potenciales, pues es menos estructurado y más factible de omitir aspectos importantes. Los especialistas expertos en la aplicación de esta técnica consideran que es una herramienta fácil de emplear y menos tediosa que las otras. Considera las consecuencias de posibles sucesos



inesperados y supone las fallas sin considerar consecuencias. La pregunta ¿Qué pasaría si? enfoca todas las desviaciones de diseño, construcción, modificación y operación de la planta. Se realiza en áreas concretas por expertos que tienen información detallada de instrumentación, procedimientos, etc.

El análisis ¿Qué pasaría si? consiste en determinar las consecuencias no deseadas originadas por un evento. Puede aplicarse para examinar posibles desviaciones en el diseño, construcción, operación o modificaciones de la planta. Esta 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, pues supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó. Puede aplicarse tanto a una sección del proceso como a toda la industria. Ejemplos:

Tabla 4. Aplicaciones del Análisis ¿Que pasaría si ...
... hay una pérdida de servicios agua de enfriamiento, agua de proceso, vapor, aire de instrumentos o de proceso?
...hay una pérdida del sistema de enfriamiento?
...hay una pérdida de energía eléctrica?
...hay una pérdida de electricidad de emergencia?
...hay una pérdida del sistema de cómputo de control del proceso?
...hay una descarga de una válvula de relevo o un disco de ruptura? ...y no tiene la capacidad suficiente?
...la reacción de descomposición o polimerización no esta controlada?
...hay una explosión o un incendio interno?
...hay falla del operador al efectuar alguna operación crítica?

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

Tiene que identificar los posibles riesgos y consecuencias, así como los posibles métodos o formas de minimizarlos en las etapas de: perfil, conceptual, básica, detalle, construcción, puesta en marcha y operación. Es especialmente útil para revisar cambios propuestos en una instalación y para verificar la vulnerabilidad y respuesta de los procesos y sus equipos ante la pérdida de la función. Todos sus resultados se suman en la lista de procesos, equipos, instalaciones e insumos, riesgos críticos, pérdidas potenciales y escenarios de accidentes y formas de reducir las consecuencias de los mismos. Depende del tamaño de la planta a analizar y el número de áreas de investigación el costo y tiempo de realización. No



es efectivo a nivel costo o tiempo si el personal no tiene el adiestramiento adecuado en la utilización del método. (Ref. 1)

2.3.7 Análisis de Modo de Fallas, Efectos y Criticidad

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

- Diseño: para identificar medidas de protección adicionales incorporadas al diseño.
- Construcción: para evaluar cambios de equipos resultantes de modificaciones en campo.
- Operación: para identificar la existencia de simples fallos que pueden generar accidentes.

Sus resultados se exponen en lista de equipos de la planta o del sistema, modos de falla y sus efectos. Esta lista puede ponerse fácilmente al día por modificaciones en la planta (o sistema) o cambios de diseño. Depende del tamaño del sistema, para una evaluación, lo ideal es disponer de dos especialistas de procesos e instrumentación. Es fundamental el perfecto conocimiento del sistema para poder evaluar la evolución del mismo tras la falla. (Ref. 15)

2.3.8 Análisis Preliminar de Peligros

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



Tienen su razón en identificar en las primeras etapas del proyecto los peligros potenciales, a manera de mitigarlos en sus inicios para asegurar la operación futura de la planta. Como son en las etapas siguientes:

- Operación: para realizar un inventario de peligros críticos a plantas y procesos relevantes por sus costos asociados e incidencia en la producción.
- Diseño y Básica: por ser útil en las primeras etapas del proyecto.
- Construcción y Montaje: para realizar un inventario de peligros críticos. Sus resultados se reportan en un listado cualitativo de riesgos potenciales con recomendaciones para reducir situaciones peligrosas de los equipos e insumos de plantas y procesos, en cualquiera etapa del proyecto. (Ref. 16)

2.3.9 Análisis de Error Humano

El Análisis de Error Humano es una evaluación sistemática de todos los factores que influyen en las actuaciones de los trabajadores de la planta, por lo tanto, corresponde a un análisis minucioso de las diversas tareas realizadas en un sistema determinado. Es un método que consiste en describir las características del entorno requerida para realizarlas adecuadamente e identificar las situaciones de error que pueden desencadenar un accidente.

Un error humano ocurre cuando la acción del operador no logra el objetivo o propósito de su trabajo, ya sea porque: 1º, no comprende cualquier cambio físico percibido por los sentidos: vista, oído, tacto u olfato (estímulo recibido); 2º, su reacción es inadecuada hacia los estímulos recibidos, en cuanto al proceso de pensar y decidir que hacer (respuesta interna); 3º, su interpretación lógica o recordatorio de las instrucciones recibidas (respuesta externa).

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

Se hace con el objeto de identificar las fallas humanas potenciales y las causas que pueden desencadenar el accidente. Este se realiza para las etapas: básica, detalle, construcción, puesta en marcha y operación. Requiere tener acceso a los procedimientos de las plantas, entrevistas con el personal, conocimiento de la planta, paneles de control o alarma, estadística de accidentes, etc. Y de un analista por planta, instrumentistas y asesores de seguridad. El resultado es un listado cualitativo de posibles sucesos



no deseados, originados por el error humano y que genera una serie de recomendaciones para el comportamiento del trabajador, procedimientos de trabajo, condiciones de higiene ambiental, capacitación de trabajador etc, para mejorar la capacidad de actuación del operador. (Ref. 1)

2.3.10 Análisis de Árbol de Eventos

Esta técnica de Análisis de Árbol de Sucesos (*Event Tree Analysis, ETA*) evalúa las consecuencias que pueden tener lugar a partir de un evento determinado. Se interesa más por los resultados que por las causas. Supone algo ya ocurrido y construye un “árbol lógico” que conecta dicho suceso inicial con los finales, donde la rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final. Se usa para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos después del accidente.

Evalúa los resultados de un accidente potencial que se derivan de una falla o alteración. El analista comienza su trabajo identificando un evento inicial, para posteriormente analizar una cadena de sucesos, teniendo en cuenta los aciertos y errores de las funciones de seguridad según progresa el accidente. Es una buena herramienta para registrar secuencias de accidentes, siendo adecuada para analizar aquellos casos que empiezan y pueden derivarse en una gran cantidad de efectos. Identifica las secuencias del suceso desde que comienza hasta que termina el accidente, de las etapas: básica, detalle, puesta en marcha y operación. Tanto en las etapas de diseño como en la operación, para evaluar la efectividad de las medidas de seguridad definidas en los sistemas de protección de procesos e equipos. (Ref. 1)

Los resultados son inicialmente cualitativos, si bien puede darse la probabilidad de ocurrencia si se conocen las probabilidades de ocurrencia de los sucesos. Requiere de la información de los conocimientos de sucesos y de las funciones de seguridad y procedimiento de emergencia que pueden mitigar el suceso no deseado.

2.3.11 Análisis de Consecuencias de Incendios y Explosión

Esta técnica de análisis generalmente se aplica en los accidentes más frecuentes en la industria petroquímica. Evalúa consecuencias derivadas de los incendios y explosiones, por lo que requiere de datos que definan el escenario en los que estos ocurren. Se necesita conocer el material utilizado, límites de inflamabilidad en el momento de la explosión o cantidad en el derrame del líquido inflamable.

Toda medida de protección contra incendio tiene por objeto reducir el peligro de incendio en un objeto determinado principalmente prescripciones legales de diversa índole, relativas a la construcción o



producción de materiales explosivos o inflamables, instalaciones eléctricas y de calefacción, talleres, etc. Se trata esencialmente de medidas preventivas que tienen como finalidad los puntos siguientes:

- ❖ conseguir que la probabilidad de que se declare un incendio sea muy pequeña.
- ❖ ya declarado el incendio, el fuego no se debe poder extender rápida y libremente, es decir solamente deberá causar el menor daño posible.

Cuando se origina un incendio, el tiempo necesario para dominarlo eficazmente comprende de tres tiempos: la del tiempo necesario para descubrir el incendio, la del tiempo para iniciar la alarma y el tiempo necesario para que entren en acción los medios de extinción. La eficacia de los servicios públicos de extinción, constituyen lo que se llama tiempo necesario para iniciar la extinción y evidentemente es necesario tenerlo en cuenta para la evaluación del peligro. Se disminuirá cualquier determinado peligro de incendio, mejorando las medidas de prevención y las medidas complementarias tales como la reducción del tiempo necesario para iniciar la extinción, la cual es la finalidad de las instalaciones automáticas de protección contra incendio (instalaciones de detección y de extinción de incendios).

Se juzga si es necesario establecer una instalación automática de protección contra incendio (detección-extinción). En determinados casos puede imponerse una mejora de efectivos de intervención (por ejemplo la organización de un cuerpo de bomberos de empresa).

El análisis de consecuencias de incendio y explosión obtiene como resultados magnitudes numéricas que permitan decidir razonablemente, en función de todos los factores mencionados. La cuantificación de este tipo de análisis puede ser usada para medir el riesgo asociado con la operación de procesamiento, manejo y almacenamiento de sustancias peligrosas. Se discute así mismo, la percepción y aceptación del peligro por parte de los analistas. (Ref. 15)

2.3.12 Análisis de Árbol de Fallas

El método de análisis del Árbol de Fallas, conocido como el FTA (*Fault Tree Analysis*), deduce los accidentes en particular o fallas en un sistema determinado, por lo que determina las causas del evento. Calcula la frecuencia y/o probabilidad de ocurrencia de un evento culminante. Es un método gráfico, por la similitud que tiene con un árbol, donde se muestran las fallas: del equipo y errores humanos, y del mantenimiento en sistemas de interés de manera arbitraria. Es un método muy estructurado que se puede aplicar a varios sistemas. En un primer nivel supone un suceso indeseable, para buscar posteriormente las causas del mismo en varios niveles.



Es un análisis de procedimiento deductivo para la identificación de fallas de eventos básicos que pueden conducir a la falla del sistema en general. Es particularmente efectivo para sistemas integrados por varios componentes, para análisis cualitativo y cuantitativo de varios componentes y subsistemas. Sirve para identificar áreas con probabilidad alta de riesgo y proporcionar las medidas de prevención de estos. El análisis cuantitativo del árbol de fallas esta destinado para encontrar el mínimo número de eventos para ocasionar el evento culminante que desencadena el accidente; ya que dependiendo del número de eventos se incrementa el tamaño del árbol dando mayor o menor complejidad a la evaluación del árbol. (Ref. 10)

Metodología del Árbol de Fallas

Es un método deductivo de análisis que parte de la previa selección de un *evento o suceso no deseado* para averiguar su origen; ya sea éste. un accidente de gran magnitud (explosión, fuga. o derrame) o un suceso de menor importancia (falla de un sistema de cierre. falla de mantenimiento, etc).

De manera sistemática y lógica se representan las combinaciones de las situaciones que pueden dar lugar a la producción del evento no deseado, conformando niveles sucesivos de tal manera que cada suceso esté generado a partir de sucesos del nivel inferior, siendo el nexo de unión, entre los diferentes niveles, la existencia de *operadores o puertas lógica (Y, O)*. El árbol se desarrolla en sus distintas ramas hasta alcanzar una serie de *sucesos básicos*, denominados así porque no precisan de otros anteriores a ellos para ser explicados. También alguna rama puede terminar por alcanzar un *suceso no desarrollado*, sea por falta de información o por la poca utilidad de analizar las causas que lo producen. (Ref. 18)

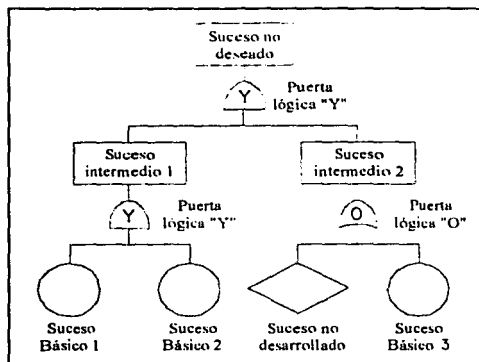
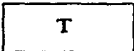

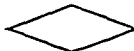
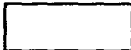




fig. 1 Representación gráfica del Árbol de Fallas



Si alguna de las causas inmediatas contribuye directamente por sí sola en la aparición de un evento anterior, se conecta con él mediante una puerta lógica del tipo "O". Si son necesarias simultáneamente todas las causas inmediatas para que ocurra un suceso, entonces éstas se conectan con él mediante una puerta lógica del tipo "Y".

Para la representación gráfica de los árboles de fallas y con el fin de normalizar y universalizar la representación se han elegido ciertos símbolos que se representan en la Tabla siguiente.

Tabla. 5 Representación de los Términos del Árbol de Fallas		
Términos del Árbol de fallas	Descripción	Simbología
Evento culminante	Es el evento principal no deseado, el cual aparece en la parte superior del árbol de fallas.	
Evento básico	Es cualquier evento que por considerarse elemental no requiere de un desarrollo posterior	
Evento no desarrollado	Es un evento que a falta de información o interés no se desarrolla	
Evento intermedio	Es el resultado de la combinación de varios eventos básicos o no desarrollados, a través de las puertas lógicas	
Puerta "Y"	El evento ocurre si solo si ocurren todos los sucesos que lo conforman, "si solo si, esta relacionado con el operador de multiplicación" que equivale a la conjunción "Y"	
Puerta "O"	El evento ocurre si uno u otro ocurre. El "uno u otro", esta relacionado con el operador matemático de suma" que equivale a la disyunción "O"	

Para la resolución de árboles de fallas se realizan los siguientes pasos:

1. Identificar todas las puertas lógicas y eventos básicos.
2. Resolver todas las puertas en sus eventos básicos.
3. Eliminar los eventos repetidos en los conjuntos de fallas



Por este último paso se debe transformar el árbol de fallas en una función lógica y la posibilidad de simplificar la función lógica del árbol gracias a la comprobación de falsas redundancias. La reducción de falsas redundancias consiste en simplificar ciertas expresiones y consecuentemente los elementos de estructura que las mismas representan. Es decir, se deben identificar las fallas individuales de los componentes, que tengan una causa común. Esto es la optimización de un Árbol de fallas, y consiste en analizar el árbol sobre el plano de su estructura lógica, para poder determinar las combinaciones mínimas de sucesos básicos que hagan que se produzca el evento no deseado que se pretende evitar. El Álgebra Booleana traduce la estructura lógica del árbol de fallas en ecuaciones lógicas: usando un sistema de equivalencia lógica diferente al álgebra lineal, como:

Tabla 6. Equivalencia Lógica del Álgebra Booleana y Lineal		
Puerta lógica	Equivalencia	Significado
Una puerta "0"	Equivale a un signo "+"	Que representa la unión en teoría de conjuntos
Una puerta "Y"	Equivale a un signo "•"	Que representa la intersección

Algunas de las leyes y propiedades básicas del *Álgebra Booleana* que se aplican a esta optimización del análisis de Árbol de fallas son:

Tabla 7. Propiedades del Álgebra Booleana		
Propiedad	Puertas "Y"	Puertas "0"
conmutativa	$x + y = y + x$	$x \cdot y = y \cdot x$
asociativa	$x + (y + z) = (x + y) + z$	$x \cdot (y \cdot z) = (x \cdot y) \cdot z$
distributiva	$x \cdot (y + z) = x \cdot y + x \cdot z$	
	$x + y \cdot z = (x + y) \cdot (x + z)$	
identidad	$x + x = x$	
	$x \cdot x = x$	
absorción	$x + x \cdot y = x$	
	$x \cdot (x + y) = x$	

El Árbol de Fallas tiene sus inconvenientes. si el sistema es muy complejo. el árbol puede ser muy largo y para poder encontrar la probabilidad de que ocurra el evento indeseado se requiere de herramientas matemáticas o de programas de computo para poder encontrarla. Y aquí se pueden encontrar diversos resultados, por lo que se tiene que confiar en el juicio de la selección del método mas apropiado del analista del árbol de fallas.



Identifica combinaciones de fallas de equipo, de variables de control de procesos y de errores humanos que pueden dar como resultado el accidente, en las etapas: Básica, Detalle, Puesta en Marcha. El análisis por árbol de fallas debe ser elaborado por personas conocedoras de la planta y proceso a analizar. además de que conozcan el método y tengan experiencia en su aplicación. Se deben constituir equipos de trabajo multidisciplinarios (ingeniero de seguridad, ingeniero del proyecto, ingeniero de proceso, etc). El resultado está en relación con la combinación de fallas y errores que puede originar el accidente. Aunque el resultado es cualitativo, presenta la posibilidad de utilizar como evaluación cuantitativa. (Ref. 1)

2.3.13 Análisis de Peligros y Operabilidad

El Análisis de peligros y operabilidad generalmente se conoce como el análisis HazOp (*Hazard and Operability Analysis*). Este fue desarrollado para identificar peligros y evaluar riesgos y problemas de operabilidad en una planta de proceso, evaluando línea por línea, equipo por equipo, de todo el proceso para identificar las consecuencias posibles de desviaciones del diseño. en todas las unidades del proceso. La técnica requiere de información detallada del diseño y operación del proceso. ya que se analizan las causas, consecuencias y acciones correctivas, llevando a cabo un registro ordenado. Los resultados incluyen la identificación de peligros, problemas de operabilidad y recomendaciones para reducir los riesgos a los que se encuentren expuestos los procesos analizados. (Ref. 4)

Este análisis consiste en revisar la planta en una serie de reuniones durante las cuales un equipo multidisciplinario realiza un "brain storming" (tormenta de ideas) sobre su diseño. La gran ventaja de este método es que genera muchas ideas como resultado de la interacción de las distintas experiencias de los técnicos que forman el Equipo HazOp. El facilitador del equipo realiza inicialmente una identificación de nodos por procesos. De cada uno de estos nodos se estudian las desviaciones en los parámetros de proceso utilizando las palabras - guía. Con esto se asegura que el diseño se explora en todas las vías concebibles, identificando sus causas, sus consecuencias y las acciones a tomar en caso de que éstas sean problemáticas. (Ref. 20)

El HazOp identifica los peligros asociados con la operación del sistema, investigando las desviaciones posibles de la planta de su operación normal. Es muy importante aclarar que un estudio HazOp no tiene como objetivo encontrar soluciones a los problemas encontrados. Estas se harán si son sencillas y si están de acuerdo los miembros del equipo, pero nunca se detendrá el estudio para buscar soluciones complejas. El principal objetivo de un HazOp es la identificación de los peligros, causas y consecuencias por las desviaciones de los estándares de diseño.



Metodología del Análisis HazOp

Se aplican sistemáticamente todas las combinaciones de palabras guía relevantes para la planta analizada, encontrando los problemas potenciales o peligros. Los resultados se exponen en hojas de registro del HazOp, basadas en el principio de la actuación conjunta de varios expertos en diferentes campos. con el fin de encontrar más problemas de los que se identificarían si se trabajara en forma separada. A continuación veremos las etapas de esta técnica. (Ref. 13)

1. Conocer los siguientes conceptos:

Palabras Guía: se usan para enfocar la atención del equipo HazOp sobre las desviaciones y causas posibles, que se conforman de palabras primarias y secundarias: *Primarias:* enfocan la atención sobre una aspecto particular de la intención de diseño o parámetro o condición de un proceso asociado. Como: flujo, presión, separación, reacción, corrosión, temperatura, nivel, composición, mezcla, viscosidad, etc. O palabras de aspecto operacional como: arranque, paro, mantenimiento, inspección, drenar, purgar, venteo, relevo, aislamiento. *Secundarias:* palabra que en conjunto con las palabras guías primarias sugieren desviaciones posibles o problemas potenciales. Por ejemplo: no, mas y/o menos, además de, parte de inversión, en vez de, otro que, también como.

Tabla 8. Palabras Guía para localizar desviaciones o causas

Palabras primarias	Palabras secundarias		Palabras Guía (primaria + secundaria)
Reacción	No	(negación de lo previsto en diseño)	No reacción
Presión	Mas	(aumento cuantitativo de una variable)	Más presión
Temperatura	Menos	(opuesto a mas)	Menos temperatura
Concentración	Además de	(aumento cuantitativo)	Impurezas
Mezcla	Parte de	(disminución cuantitativa)	Menos proporción de un componente de una mezcla
Flujo	Inverso	(opuesto a lo previsto en el diseño)	Flujo inverso

Desviación: combinación de palabras guía primaria con secundaria que se efectúa.

Intención: modo normal de operación en ausencia de desviaciones.

Causa: causa potencial que hace que ocurra la desviación.

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

Protecciones: dispositivos que previene la causa o protege contra consecuencias.

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



2. Definir el objetivo del estudio: Estos se fijan normalmente por el responsable de la Planta o Proceso asistido por el Ingeniero de Seguridad que va a ser el Coordinador (facilitador) del estudio. Se deben identificar los problemas de operación y riesgos asociados (desarrollar lista de planteamientos o verificar la instrumentación de seguridad), así como las consecuencias que van a ser consideradas (seguridad, pérdida de planta o equipo, producción, impactos ambientales).

3. Seleccionar el equipo que realizará el análisis: generalmente esta constituido por lo ingenieros de Diseño, de proceso, de instrumentación, de seguridad y los supervisores de mantenimiento y de operaciones (jefe de la planta). De los cuales, su conocimiento y experiencia, servirán para identificar los problemas con facilidad. El coordinador tiene que ser objetivo y no estar ligado estrechamente con el proyecto, para no influenciar. Y el secretario, con conocimiento técnico, debe contribuir registrando todo lo que se va analizando en cada sesión.

4. Preparar las sesiones: Se debe reunir la información, entender la operación de la planta, subdividir la planta en circuitos y nodos y planear secuencias, marcar los diagramas, crear una lista de palabras guía adecuada, preparar temas a tratar, preparar el itinerario y hacer la selección del equipo. La Información consta de: descripción del proceso (con parámetros de operación, velocidades de flujo, volúmenes, etc), diagramas de flujo de proceso (DFP's), diagramas de tubería e instrumentación (DTI's), descripción de los equipos localizados en el plot-plan de la planta. Toda la información debe estar vigente y actualizada, sino lo está, se debe hacer la actualización.

5. Dar resultados del análisis y recomendaciones: ya sabiendo el riesgo, se analizan y/o proponen protecciones en el sistema y se plantean soluciones para reducir los niveles de riesgo, reduciendo la frecuencia o probabilidad de las causas de los posibles accidentes. Para lo cual, se deben aplicar medidas preventivas para evitar que sucedan accidentes o reducir su frecuencia; así como también, aplicar las medidas correctivas que disminuyan los efectos como: derrames, fugas, incendios o explosiones, etc. El fin es eliminar la causa o reducir la consecuencia. (Ref. 1)

2.4 CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS

Métodos Comparativos: se utilizan para evaluar la seguridad de una instalación a través de la experiencia adquirida en operaciones previas de la planta. Estos se basan en la experiencia acumulada en un proceso determinado y en normas y códigos aplicables a los equipos y líneas de proceso: como el diseño, fabricación, instalación y operación, y en las medidas de seguridad (sistemas contra incendio, sistemas de relevo de presión, sistemas de control, diques de contención, sistema de alarma, equipos de relevo,



manuales de operación). Entre estos se encuentran las técnicas de análisis de peligros como: listas de verificación, revisiones de seguridad, códigos y normas, análisis históricos de accidentes.

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

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

Métodos Cuantitativos: se caracterizan por un resultado numérico, que utiliza un modelo lógico estructurado para fallas específicas, considerando la combinación de fallas múltiples. Requiere de una gran cantidad de datos estadísticos para calcular la probabilidad de falla. Como el análisis de árbol de fallas, análisis de modos de falla, efectos y criticidad, análisis de consecuencias de incendios y explosiones, y el análisis de peligros y operabilidad, etc. (Ref. 15)

2.5 SELECCIÓN DE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS

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

Debemos contar con la identificación y evaluación de todos los riesgos, estudio de alguna clase de riesgo en particular, conocer la cadena de sucesos que se generen por determinado accidente, señalar las áreas de mayor riesgo, establecer jerarquías de riesgos. También es necesario saber con que información contamos, pues cada técnica requiere mas o menos información del proceso, etc. Como este proyecto esta ligado a un lineamiento administrativo, su retraso podría ocasionar problemas legales y económicos, por el cumplimiento del proyecto en un plazo determinado.



Se deben conocer las características del proceso para identificar que tipo de análisis convendría, pues cada industria es diferente por lo que se debe usar un análisis determinado. Se pueden utilizar métodos equivalentes, sin embargo la técnica utilizada debe siempre ser seleccionada, basada en la complejidad del proceso y el objetivo del análisis. (Ref. 1)

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

Tabla 9. Criterios para seleccionar la técnica de análisis	
Criterio	Descripción
Objeto	Lo que busca
Herramienta	Lo que utiliza
Resultados	Como se requiere el resultado: lista, porcentaje, índice de riesgos, gráfica, etc.
Naturaleza	Cuantitativos o Cualitativos
Personal	Especialista, experiencia y multidisciplinario

2.6 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y PELIGROS

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

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

Aquí reside la importancia de los análisis de riesgos y peligros en las industrias de refinación, petroquímicas, y en todas las industrias químicas en general, pues es necesario manejar las sustancias



químicas de manera segura y confiable. Pues en estos análisis: se investiga la posible desviación de la operación normal de un determinado proceso, se cuestiona las desviaciones de las condiciones de temperatura, presión, flujo, viscosidad, etc, se buscan las causas posibles que pueden aumentar o disminuir el calor que se debe tener en el proceso: se investigan las causas que pueden alterar la concentración de las sustancias en relación de la composición de la mezcla original: se determinan las causas que pueden provocar la introducción de sustancias en un estado físico ajeno al proceso. Así como también cumplen con el fin de:

- decir cuando iniciar la operación
- interrumpir la operación
- someter a mantenimiento

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

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



Capítulo III

DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA ISOMERIZADORA

3.1 ANTECEDENTES

3.1.1 Refinación en México

El país enfrentó serias dificultades técnicas y económicas para sacar adelante a la industria petrolera después de la expropiación petrolera del 18 de marzo de 1938. Dió un salto importante en su proceso de industrialización, en el cual el petróleo tuvo un gran valor estratégico. El 7 de junio de 1938 se creó Petróleos Mexicanos (PEMEX) para administrar y operar la industria petrolera nacionalizada. Asimismo, se añadió a la Constitución un artículo para que esta industria no pudiera ser adquirida, poseída o explotada por particulares.

Algunas refinerías frenaron su producción en los primeros días de la expropiación petrolera y otras laboraban a la mitad de su capacidad, cuyo funcionamiento por falta de equipo, era realmente complicado. La nueva administración emprendió la reparación de las plantas refinadoras y rebajó los precios de los productos para el consumidor nacional. Se construyeron las refinerías de Poza Rica, de Salamanca, de Ciudad Madero, la nueva refinería de Minatitlán y se amplió la de Azcapotzalco. En 1966 se creó el Instituto Mexicano del Petróleo. Se impulsaron las actividades de exploración y perforación. En los años setenta se da un impulso importante a la refinación, al entrar en operación la refinerías de "Miguel Hidalgo", en Tula, Hidalgo; la refinería "Ing. Héctor Lara Sosa", en Cadereyta, Nuevo León, así como la "Ing. Antonio Dovalí Jaime", en Salina Cruz, Oaxaca.

No fue hasta 1990, que se inició un programa de inversiones financiado por Japón denominado "Paquete Ecológico", que comprendió la construcción de un total de 28 plantas de proceso en el sistema nacional de refinación, el cual fue terminado en 1997 y cuyos objetivos para cumplir con las normas ambientales adoptadas por el Gobierno de México fueron:

- mejorar la calidad de las gasolinas
- reducir el contenido de azufre en el diesel
- convertir el combustóleo en combustibles automotrices
- elevar las características de los productos residuales



A mediados de los noventa se fortalecieron los programas operativos de Petróleos Mexicanos para mantener la producción de hidrocarburos y aumentar la elaboración y distribución de productos petrolíferos de mayor calidad, principalmente gasolinas Magna y Premium, y Diesel. En el 2000, la industria petrolera mexicana enfocó sus proyectos a la producción de crudo ligero, a la aceleración de la reconfiguración de las refinerías y al mejoramiento de la calidad de los productos. (Ref. 25)

3.1.2 Índice de Octano

Es cierto que el factor de compresión más elevado hace más eficiente el motor moderno de gasolina, pero al mismo tiempo es un problema para la explosión de la mezcla combustión-aire. Esta explosión, que produce una detonancia, reduce considerablemente la potencia de un motor. El problema de la detonancia se había resuelto satisfactoriamente de dos modos generales: uno por la selección apropiada de los hidrocarburos para ser empleados como combustible y otro por la adición de tetraetilo de plomo, sin embargo, este último generó otro problema: plomo en el ambiente. La tendencia de antidetonancia de un combustible generalmente se indica por el *índice de octano* u *octanaje*, el cual se ha establecido en una escala arbitraria, que se resume en la tabla siguiente:

Hidrocarburos de referencia	Detonancia	Índice de octano
n-heptano	muy fuerte	0
iso-octano (2,2,4-trimetilpentano)	muy bajo	100

Sin embargo, en la actualidad ya existen combustibles cuyas propiedades de antidetonancia son superiores a las del iso-octano, por lo que rebasan el 100 de dicha escala. La fracción de gasolina obtenida por destilación directa del petróleo, el cual se conoce como gasolina *straight-run*, se mejora por adición de compuestos de mayor octanaje. Los alcanos ramificados, como los alquenos y los hidrocarburos aromáticos tienen excelentes cualidades de antidetonancia y se producen de los hidrocarburos del petróleo por medio del Cracking Catalítico y Reformación Catalítica, aunque los alcanos muy ramificados se sintetizan de alquenos y alcanos por Alquilación e Isomerización. (Ref. 11)

Agregando una cantidad de tetraetilo de plomo ($C_2H_5)_4Pb$, el octanaje de una gasolina puede mejorarse considerablemente y se le conoce como gasolina etílica o gasolina con plomo. Sin embargo, se descubrió que es muy contaminante, pues el motor con esta gasolina descarga a la atmósfera sustancias venenosas como: monóxido de carbono, hidrocarburos no quemados, gases NO_x (óxidos de nitrógeno) y



todos los gases desprendidos del plomo. Por ello se diseñaron los convertidores catalíticos. en las industrias petrolera y automovilística. para limpiar las emisiones de los escapes por oxidación catalítica de hidrocarburos y monóxido de carbono y por degradación de óxidos de nitrógeno. Con los convertidores se favoreció el combate a la contaminación ambiental.

Eliminado el plomo de las gasolinas, se regresó al problema de la detonancia en los motores. para el cual se dieron dos soluciones: una la de reducir el factor de compresión de los motores de automóviles y aviones nuevos; y otra, la de aumentar el índice de octano (octanaje) de la gasolina por cambios en su composición de hidrocarburos, por medio de la adición de aromáticos y por un mayor uso de la Isomerización. La Isomerización catalítica transforma alcanos de cadena recta en estructuras ramificadas, esta es la razón por la que en las Refinerías actuales se están implantando las Plantas Isomerizadoras, ya que pretenden elevar el índice de octano en sus gasolinas.

3.1.3 Reformulación de gasolinas

El deterioro de la calidad del aire en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México es una de las principales preocupaciones de las autoridades ambientales, por lo que en 1982 se dio origen a la primera ley en materia ambiental: la Ley Federal de Protección al Ambiente, que posteriormente, en 1989 se convirtió en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA). Las actividades relativas a la preservación y mejoramiento del medio ambiente se inician en junio de 1986 con el programa "21 Medidas Contra la Contaminación Ambiental", el cual contenía actividades enfocadas al mejoramiento de la calidad de los combustibles tanto industriales como automotrices, que conllevan a la reformulación de gasolina y diesel. Posteriormente en 1994 se publica la norma NOM-086-ECOL-1994, que regula la calidad de los combustibles para el servicio automotriz, doméstico e industrial. En esta norma se dictan las características de las gasolinas en función a la problemática ambiental de las regiones. La NOM-086-ECOL-1994, define como regiones con problemática ambiental, a aquellas que por su densidad vehicular y de población presentan deterioro de la calidad del aire, entre las que se encuentran las Zonas Metropolitanas del Valle de México, Guadalajara y Monterrey.

El precedente a estas leyes surgió desde 1974, en EUA, donde se establecieron las primeras restricciones en los contaminantes de gasolina de los vehículos, donde se incorporan a estos sistemas de control de emisiones, conocidos como convertidores catalíticos de dos vías, para reducir emisiones de monóxido de carbono e hidrocarburos a la atmósfera. Además se demandó la reducción de plomo en las gasolinas hasta su completa eliminación debido a su efecto negativo en el funcionamiento de los convertidores catalíticos y elevada toxicidad. (Ref. 14)



La *gasolina reformulada* se trata de una gasolina en la que se ha cambiado la concentración de algunos de sus componentes con el objeto de lograr que la gasolina se queme a su mayor rendimiento, es decir, con menos emisiones contaminantes en la atmósfera. Esto significa la sustitución parcial o total de los compuestos e hidrocarburos indeseables, dentro de los que se encuentran en gran número de alto octano, por hidrocarburos o componentes alternos cuya afectación al medio ambiente sea mínima. El objetivo de la reformulación significará la producción de combustibles con mayor octano. Las tendencias para mejorar la calidad de las gasolinas son las siguientes:

- a. Disminuir la presión de vapor, para reducir las emisiones de vapor del combustible
- b. Reducir las olefinas, que son altamente reactivas y participan en la formación del ozono atmosférico
- c. Reducir los compuestos aromáticos que tienen gran toxicidad y actividad fotoquímica
- d. Eliminar los compuestos de plomo, que son muy tóxicos y además afectan el funcionamiento de los convertidores catalíticos
- e. Incrementar el índice de "antidetonaancia", para obtener mayores rendimientos de combustible en los automóviles

Dentro de las alternativas para mejorar la calidad de las gasolinas se encuentra la Alquilación, que consiste en la aplicación de aditivos de octano en los procesos de desintegración catalítica y el desarrollo de catalizadores de alta selectividad para estos procesos. También se puede lograr el mejoramiento de combustibles, mediante el uso de aditivos, como el metil terbutil eter (MTBE) y el teramil etil eter (TAME) han demostrado ser los que ofrecen más ventajas para incorporarse como un estándar mundial de igual importancia para la industria de refinación y automotriz. Sin embargo, como la presencia de los compuestos de tipo aromático (proveniente del proceso de reformación catalítica de la refinación del petróleo) está directamente relacionada con las gasolinas de alto octanaje, la dilución de los aromáticos mediante la incorporación de corrientes ricas en parafinas isomerizadas (que también poseen un elevado índice de octano) es otra alternativa para la reformulación de las gasolinas. (Ref. 6)

Por lo tanto, para incrementar el índice de octano sin adicionar compuestos de plomo, se puede realizar por la *isomerización de pentanos y hexanos* que son generados en grandes cantidades debido a que se encuentran de origen en el petróleo crudo, en las corrientes producidas en el proceso de reformación catalítica de naftas, tanto en la de regeneración continua de catalizador.

En la década de los noventa, la industria de la refinación del petróleo enfrentó retos tecnológicos y económicos, las nuevas reglamentaciones en materia ecológica requirieron productos con



especificaciones de calidad más rigurosas. La obtención de productos a partir de crudos pesados requiere de mayor grado de conversión que debe llevar asociada una elevada calidad. Por ello, se adicionan plantas de proceso con nuevas tecnologías para la conversión de destilados residuales, que son un impacto considerable sobre el equipo de procesamiento y en general sobre la seguridad global de la refinería.

PEMEX Refinación consciente de la importancia de la calidad de los combustibles por su impacto en el medio ambiente, en sus planes estratégicos analizó el cambio de la infraestructura del Sistema Nacional de Refinación, con el objetivo de plantear las inversiones necesarias para la construcción de plantas dirigidas a elevar la calidad de los componentes de los combustibles, y de esta manera alcanzar las nuevas especificaciones de productos requeridas para disminuir las emisiones a la atmósfera. Por ello en 1990 se realizaron inversiones dentro del proyecto "Paquete Ecológico". Estas permitieron disminuir el plomo en las gasolinas, incrementar la oferta de gasolina sin plomo y reducir el azufre en el diesel. Dentro de este paquete los principales proyectos fueron la implantación de: seis plantas de reformación de naftas con regeneración continua de catalizador, seis plantas de MTBE con capacidad total de 5,000 b/d, dos plantas de TAME que suman 3,700 b/d, cuatro plantas de alquilación de capacidad total de 31,000 b/d, dos plantas hidrodesulfuradoras de destilados intermedios de 25,000 b/d cada una y seis plantas de isomerización con 97,000 b/d de capacidad de proceso. (Ref. 14)

3.1.4 Importancia de una Planta Isomerizadora

Una Planta Isomerizadora, de Pentanos y Hexanos, que tiene una capacidad de 15,000 BPD, recibe su carga de pentanos y hexanos de Plantas Hidrodesulfuradoras de Naftas I y II y de una Planta Reformadora de Naftas. El proceso es básicamente la reacción de isomerización catalítica, la cual tiene como objetivo el isomerizar C₅ y C₆ en isopentano y 2,3-dimetil-butano, que como se dijo anteriormente, servirán como una alternativa para la reformulación de las gasolinas. Pues dichos isoproductos se agregaran a la corriente de gasolinas, de la misma refinería, mejorando su calidad, pues ya no contendrá compuestos de plomo, su índice de octano será mayor y su rendimiento mejorará notablemente.

En los últimos años la investigación ha estado dirigida hacia el desarrollo de procesos más eficientes que cubran la demanda de gasolinas con calidad ecológica de elevado número de octanaje y bajos niveles de aromáticos; así como el mejor aprovechamiento de corrientes de bajo valor comercial como las parafinas lineales y refinados. Entre las alternativas de mayor demanda para mejorar la calidad en las gasolinas se encuentra la isomerización de parafinas lineales de bajo peso molecular, como pentanos y hexanos. Ya que es el proceso más económico para elevar el octanaje mediante el arreglo de la estructura molecular de parafinas normales a isómeros de alto nivel de octano. (Ref. 17)



El tipo de proceso que se lleva a cabo en la Planta Isomerizadora es el *proceso "Penex"* de la UOP (Universal Oil Products), el cual está diseñado específicamente para isomerizar catalíticamente Pentanos (C_5) y hexanos (C_6) y las mezclas entre dichas sustancias. Las reacciones tienen lugar en una atmósfera de hidrógeno sobre un lecho fijo de catalizador, a las condiciones de presión y temperatura que favorecen la isomerización y reducen el hidrocrackeo. El proceso "Penex", se considera simple tanto en su diseño como en su operación. Las condiciones de operación no son severas ya que las presiones son moderadas, las temperaturas son bajas, el espacio velocidad para el catalizador es alto y la presión parcial del hidrógeno es baja. Asimismo, la baja temperatura de operación favorece a una alta conversión de parafinas normales. La isomerización catalítica convierte las parafinas en compuestos de estructura ramificada con alto índice de octanaje. El octanaje de entrada de las parafinas aproximadamente es de 72 a 75 y en la salida como producto isomerizado oscila entre 83 a 85.

La isomerización, de dicho proceso, consiste en el tratamiento catalítico del pentano y hexano y sus mezclas: donde los elementos más importantes del proceso son la guarda de azufre, los secadores de carga líquida y gases, los reactores conectados en serie, la estabilización y el lavado cáustico. El proceso requiere de un catalizador con alta actividad, estabilidad y selectividad. Las ventajas de este proceso son:

- baja relación de hidrógeno e hidrocarburos
- bajas temperaturas de operación
- altos rendimientos de isoparafinas
- tiempo largo de la vida del catalizador

Aunque como desventajas se pueden tomar en cuenta el gran cuidado que se debe tener en el manejo de la operación, y carga del catalizador pues este debe estar libre de agua y azufre principalmente. (Ref. 9)

3.2 ISOMERIZACION

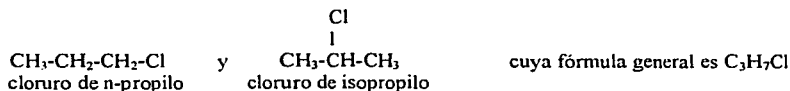
Para poder entender el proceso de isomerización que se lleva a cabo en la Planta Isomerizadora de Pentanos y Hexanos en la Refinería analizada, es necesario recordar conceptos básicos como ¿qué es la reacción de isomerización?. ¿cuáles son los mecanismos de reacción que se llevan a cabo?, ¿qué compuestos se van a isomerizar? ¿qué catalizador se usa y porque?, así como también, debemos analizar las reacciones secundarias que se efectúan alternamente.



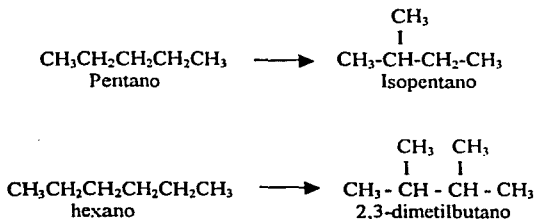
3.2.1 Isómeros

Los diferentes compuestos que tienen la misma fórmula molecular se les conoce como *isómeros*, de las partículas griegas: *isos* = igual y *meros* = parte, por lo que literalmente se refiere a *partes iguales*. Los isómeros son compuestos que contienen igual número de átomos de cada uno de los elementos que los conforman pero que están enlazados de forma diferente para cada compuesto, dando una estructura molecular diferente y por lo tanto propiedades disímiles.

Por ejemplo, el alcohol etílico cuya fórmula molecular C_2H_6O es un líquido que tiene un punto de ebullición de $78^{\circ}C$, un peso molecular de 46 g/gmol , es muy reactivo con el Na^0 pues forma C_2H_5ONa , liberando H_2 y además con el HI, ácido yodhídrico, forma el C_2H_5I . Por otro lado sabemos que el éter metílico coincide en fórmula molecular y peso molecular con el alcohol etílico. Sin embargo difiere en propiedades físicas y químicas como en el punto de ebullición, el cual es de $-24^{\circ}C$. en que no reacciona con el sodio metálico y que al reaccionar con ácido yodhídrico forma CH_3I , yoduro de metilo. Por lo tanto el alcohol etílico y el éter metílico, cuya fórmula molecular para ambos es de C_2H_6O , son isómeros. Otros ejemplos de isómeros son: (Ref. 11)



A fin de aumentar la ramificación de los hidrocarburos, la Planta Isomerizadora tiene como fin el convertir los compuestos que provienen de otras unidades de la refinería (como la unidad hidrosulfuradora de naftas, entre otras), de cadenas rectas a estructuras ramificadas. como lo es el pentano en isopentano y el hexano en 2,3-dimetil-butano.





3.2.2 Isomerización Catalítica

La *isomerización* es una re-organización de los átomos en una molécula. Los componentes de una estructura molecular no cambian, lo que cambia es la forma en que están agrupados para formar la misma estructura. En cada reacción existe un sustrato y un producto, la isomerización tiene la particularidad de que los cambios son internos, pues no entran ni salen átomos al sustrato o molécula original.

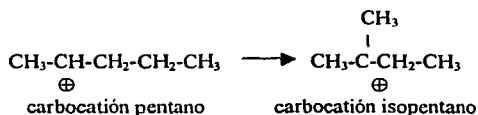


Esta reacción se usa para convertir compuestos lineales en ramificados. Para mejorar la calidad de las gasolinas se emplea el proceso de isomerización de parafinas lineales de bajo peso molecular, como pentanos C_5 y hexanos C_6 .

Las reacciones de *isomerización catalítica* de las parafinas C_5 y C_6 se efectúan por el mecanismo de reacción via ion carbonio, donde se genera la acidez tipo Lewis, debido a la unión de los iones cloro a los aluminios de la red de la alumina. Estas reacciones se llevan a cabo en una atmósfera de hidrógeno, sobre un lecho fijo de catalizador, en ciertas condiciones que promuevan la isomerización completa minimizando la desintegración. Los catalizadores de dicha reacción sirven para elevar la concentración de isoparafinas en el producto, los cuales operan a bajas temperaturas y están hechos a base de platino soportados por alumina activada. Como ya se dijo anteriormente la isomerización catalítica transforma alcanos de cadena recta en estructuras ramificadas. La isomerización catalítica de las parafinas, como pentano y hexano, se pueden efectuar mediante dos mecanismos de Fiedel-Crafts:

- 1.- con cloruro de aluminio y ácido clorhídrico o;
- 2.- por eliminación directa del ión hidruro

La reacción Friedel-Crafts, es una sustitución electrofílica, el electrófilo es típicamente un ion carbonio que se genera por un equilibrio ácido-base, esta vez en el sentido de Lewis. Donde un ácido es un aceptor de pares electrónicos y una base es un donador de pares electrónicos. La isomerización ya sea por Friedel-Crafts generalmente se relaciona con reordenamientos intramoleculares de iones carbonio como se muestra para el pentano.

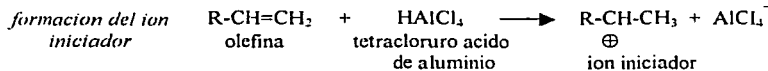




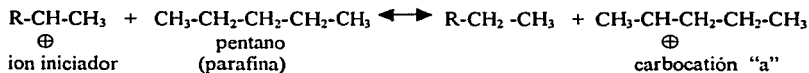
3.2.3 Mecanismos de Reacción Catalítica Friedel-Crafts

- Con cloruro de aluminio o ácido clorhídrico

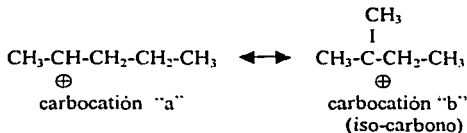
Se piensa que la isomerización por Friedel-Crafts requiere la presencia de trazas de olefinas o de haluros alquílicos como iones iniciadores de carbonio, con los que la reacción procede propagándose a través de su cadena. El ión iniciador, que necesita estar presente en pequeñas cantidades, se puede formar por la adición de HCl y cloruro de aluminio a una olefina que puede estar presente en la parafina como una impureza o bien que pueda formarse por la desintegración de la parafina. De esta manera el iniciador forma un ión carbonio de la parafina para ser isomerizado. se reacomoda y se forma el isopentano extendiéndose la cadena a consecuencia de la generación de un nuevo ión carbonio.



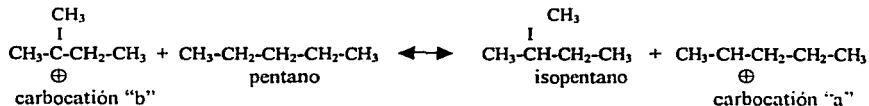
formación del carbocatión listo para ser isomerizado



rearrreglo del carbocatión el pentano (parafina)



formación del isopentano donde crece la cadena debido a la formación de un nuevo carbocatión.

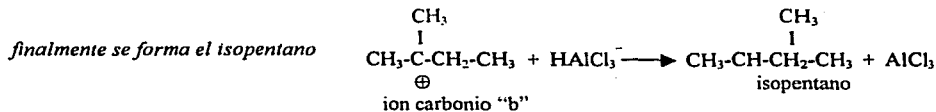
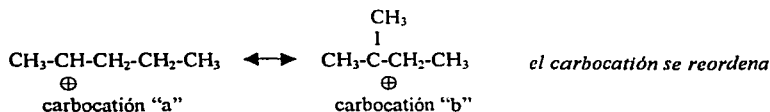
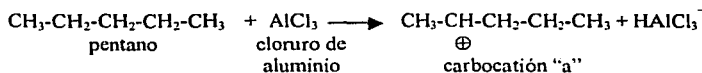




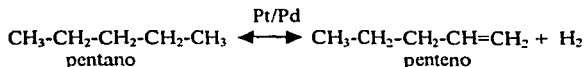
Cabe notar que las reacciones anteriores son reversibles, por lo que la secuencia del esquema pudo haber empezando con isopentano y terminando con pentano normal y un ión de iso-carbono para ampliar la cadena. La composición de la mezcla final está determinada por el equilibrio termodinámico, suponiendo que se le ha proporcionado el tiempo suficiente a la reacción.

- Por eliminación directa del ión hidruro

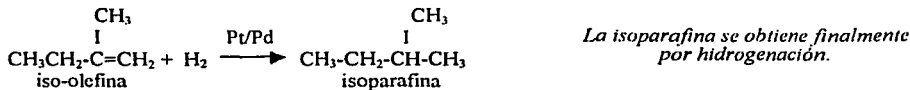
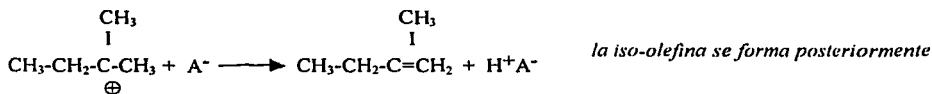
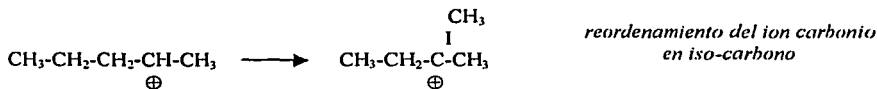
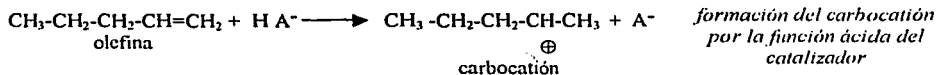
eliminación de un H de la parafina



La separación del ión hidruro se favorece energéticamente por el hecho de que el átomo de aluminio puede completar su octeto de electrones. Como siempre hay algo de ácido clorhídrico presente, ya sea por diseño o por la hidrólisis del cloruro de aluminio en presencia de trazas de agua. Los catalizadores de función dual de hidro-isomerización se piensa que operan a través de una olefina intermedia cuya formación está catalizada por un componente metálico, que se supone sea platino.

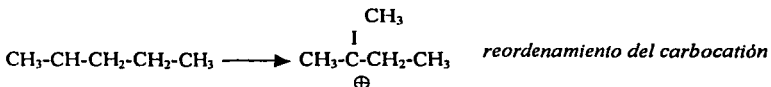
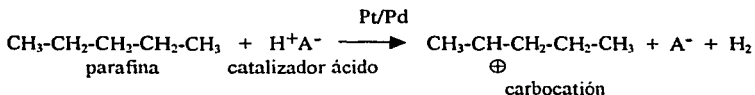


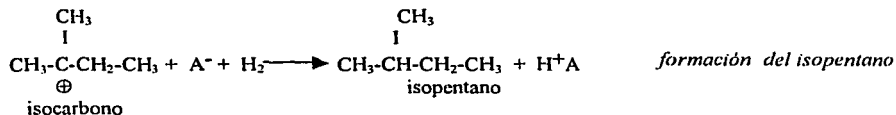
Esta reacción es reversible y debido a que estos catalizadores se emplean con hidrógeno a alta presión el equilibrio se inclina hacia el lado de los reactivos. Sin embargo, la función ácida del catalizador consume la olefina por la formación de un ión carbonio y así permite la formación de más olefinas a pesar del equilibrio desfavorable.



Aquellos catalizadores de función dual, de hidro-isomerización que trabajan a muy bajas temperaturas tienen sitios ácidos más fuertes que aquellos que requieren mayores temperaturas. En este caso, es posible que los iones carbonios (carbocationes) necesarios se formen por eliminación directa de los iones hidruro de las parafinas a consecuencia de la función ácida del catalizador:

formación de carbocationes por eliminación de ion hidruro por acción del catalizador ácido





La última reacción sustituye a la reacción de propagación en cadena de la reacción del mecanismo anterior. Como la reacción con hidrógeno es relativamente rápida, los sitios ácidos son rápidamente liberados por una reacción adicional. Esto se debe a la actividad de un catalizador de función dual.

La reacción de isomerización de la planta isomerizadora de pentanos y hexanos del presente trabajo, se considera que se efectúa por el mecanismo de eliminación directa del ion hidruro, el cual se considera que el catalizador ácido, A⁻, es el I-8 de la UOP, de platino-paladio soportado en alumina, el cual es promovido por percloroetileno, en una atmósfera de hidrógeno. (Ref. 9)

3.2.4 Sustancias Involucradas

El pentano existe generalmente en tres formas isoméricas: isopentano, pentano normal y el neopentano; siendo el n-pentano el más importante. Este se usa principalmente en gasolinas automotrices y de aviación. También se utiliza como alimentación de vapor de craqueo para la producción de etileno. En pequeñas cantidades se usa para procesos de polimerización y extracción en el laboratorio. Es altamente peligroso para provocar incendios, y su riesgo de explosión es severo al estar en contacto con altas temperaturas o la flama. Es incompatible con agentes oxidantes. Se considera un narcótico en altas concentraciones y puede causar daños respiratorios e irritación en la piel. Es menos narcótico que los gases de C₁ y C₄. Se considera de concentración letal para los humanos arriba de 130,000 ppm, y a concentraciones menores de 90,000 ppm puede provocar efectos tóxicos, ya sea, irritación en la piel, en los ojos o en las vías respiratorias. (Ref. 3)

El n-pentano generalmente se produce por destilación fraccionada del aceite crudo y gas líquido, o por craqueo catalítico de naftas, del cual se separa por destilación fraccionada vía molecular. Su fórmula general C₅H₁₂ y fórmula desarrollada CH₃CH₂CH₂CH₂CH₃ tiene 83.23% de carbono y 16.77% de hidrógeno. Su peso molecular es de 72.15 g/gmol. Es un componente natural del petróleo y se obtiene de la gasolina natural. Es un líquido inflamable, con gravedad específica de 0.62638, punto de fusión de -129.7°C y punto de ebullición de 36.1°C a 760 mmHg. Sus límites de explosividad en porcentaje en volumen en el aire es: 1.4% el más bajo, y 8% el más alto. Su temperatura de autoignición es de 309°C. Su



solubilidad en agua a 16°C es de 0.36g/l. Es miscible en alcohol. éter. y en muchos otros disolventes orgánicos. Toxicidad: a 128,000 ppm de concentración en el aire es letal. (Ref. 19)

Tabla 11. Propiedades de los Pentanos

PENTANOS	fórmula	PM (g/mol)	forma/ color	densidad relativa	PF (°C)	PE (°C)	solubilidad en agua
isopentano. iC ₅	(CH ₃) ₂ CHCH ₂ CH ₃	72.15	Líquido incoloro	0.621	-160	27.95	Insoluble
pentano normal, nC ₅	CH ₃ (CH ₂) ₃ CH 3			0.630	- 129.7	36.3	0.036
nuevo pentano, neoC ₅	(CH ₃) ₂ C(CH ₃) 2			0.6130	-20	9.5	insoluble

El hexano se separa del gas natural y del aceite crudo por destilación fraccionada. El grado comercial del hexano contiene entre 20 y 80% de n-hexano, mezclado con ciclopentano, ciclohexano, pentano, heptano e isohexano. Estos son usados como disolventes en pegamentos, cementos, adhesivos, pinturas, y como un disolvente para vegetales y otros aceites. Los isómeros del hexano están presentes en variados grupos del petróleo como: nafta, combustible para aviones de propulsión a chorro y gasolinas. También se usa como un alcohol desnaturalizado, en termómetros para bajas temperaturas, y como un medio de reacción para reacciones de polimerización. En los laboratorios, se usa como un disolvente y para síntesis químicas. El hexano es altamente inflamable y forma mezclas explosivas con el aire. Por ser mas pesado que el aire, puede viajar por el suelo y provocar una ignición, generando cargas electrostáticas; y además, puede reaccionar violentamente con materiales oxidantes como el tetroxido de nitrógeno.

La sobreexposición al hexano puede provocar neuropatías periféricas, que pueden causar la muerte. La inhalación de bajas concentraciones de hexano irrita el sistema respiratorio, en altas concentraciones se considera un narcótico que puede provocar hasta la pérdida de la conciencia. Si se maneja constantemente el hexano puede provocar la pérdida de sensibilidad en las manos y pies, y puede causar efectos neurotóxicos. Puede irritar los ojos y piel (contacto prolongado puede provocar dermatitis). Ingerido, puede causar irritación con náusea y vómito. (Ref. 2)

El n-hexano tiene una fórmula general de C₆H₁₄ siendo que su fórmula desarrollada es CH₃(CH₂)₄CH₃, y se constituye por un 83.62% de carbono y 16.38% de hidrógeno. Su peso molecular es de 86.17g/gmol. Es un líquido incoloro muy volátil, y tiene un muy peculiar olor. Su gravedad específica



es de 0.660, hierve a 69°C y solidifica entre -95.6°C y -100°C. Es insoluble en el agua y miscible con el alcohol, cloroformo y éter. Su concentración letal en el aire es cerca de 40,000 ppm. Puede provocar irritaciones al aparato respiratorio en altas concentraciones. Sus límites de explosividad son de 1.2% el mas bajo y 7.5% el mas alto; su temperatura de autoignición es de 223°C. (Ref. 19)

Tabla 12. Propiedades de los Hexanos

HEXANOS	fórmula	PM (g/mol)	forma/ color	densidad relativa	PF (°C)	PE (°C)	solubilidad en agua
isohexano, iC ₆	(CH ₃) ₂ CH(CH ₂) ₂ CH ₃	86.17	Líquido incoloro	0.654	-153.7	60.2	Insoluble
hexano normal, nC ₆	CH ₃ (CH ₂) ₄ CH ₃			0.659	-94	69	0.014
neo-hexano, neoC ₆	(CH ₃) ₃ C·C ₂ H ₅ (CH ₃) ₂ CH·CH(CH ₃) ₂ (C ₂ H ₅) ₂ CHCH ₃			0.649	-98.2	49.7	insoluble
		0.662	-129.8	58.0			
				0.664	-118	63.2	

El 2,3-dimetil-butano es un isómero del hexano. cuya fórmula molecular es C₆H₁₄, tiene un peso molecular de 86.20g/mol, su punto de fusión es de -135°F y su punto de ebullición, de 58°F, su gravedad específica es de 0.663 a 20°F y su temperatura de ignición es de 788°F, sus límites de explosividad mas bajo y alto, respectivamente son: 1.23% y 7%. Es un líquido flamable, y muy tóxico a concentraciones de 350mg/m³, pues es irritante y narcótico. Es muy peligroso cuando es expuesto a altas temperaturas o contacto directo con el fuego. Se utiliza como gasolina.

3.2.5 Catalizador

La isomerización catalítica de parafinas de bajo peso molecular, se puede efectuar con catalizadores ácidos líquidos entre 50 y 100°C. Algunos procesos usan un complejo como catalizador de aluminio-hidrocarburo activado con ácido clorhídrico; otros usan una disolución de cloruro de amonio con tricloruro de antimonio activado también con ácido clorhídrico; o también usan bromuro de aluminio activado con ácido bromhídrico. Sin embargo este proceso utiliza Catalizador I-8 de la UOP a base de platino y paladio soportado en alumina y promovido con C₂Cl₄ que se adiciona a los reactores de isomerización DC-901 A/B a 106 cm³/min a 34 kg/cm² en tambores de acero para su protección.



Estos catalizadores tienden a reaccionar con los reactivos y productos de la reacción, subliman fácilmente y son los causantes de que el reactor sufra de corrosión. Además son muy sensibles al agua, azufre, olefinas y aromáticos, lo cual hace que su tiempo de vida sea corto. (Ref. 17)

El catalizador usado en esta Planta es del tipo de hidro-isomerización. Los catalizadores que trabajan a temperaturas menores de 199°C se dice que trabajan a baja temperatura. Son catalizadores de lecho fijo que contienen un metal noble (Pt-Pd) soportado en alumina y un componente que le suministra la acidez. Estos operan en una atmósfera de hidrógeno pudiendo emplear un promotor (C_2Cl_4) cuya concentración en el reactor puede variar en un rango desde partes por millón a niveles sustancialmente más altos. Estos normalmente requieren una carga seca de bajo contenido de azufre: sin embargo, pueden diferir en forma importante en su tolerancia a hidrocarburos de otros tipos y pesos moleculares. La hidrodesintegración a gases ligeros es generalmente menor; sin embargo los rendimientos de productos líquidos son altos. (Ref. 9)

3.2.6 Reacciones Secundarias en el Proceso de Isomerización

Independientemente de las reacciones de isomerización de las parafinas (C_5 y C_6), hay otras reacciones importantes que se efectúan durante el proceso, las cuales son:

- *Rompimiento de anillos Nafténicos*

Los tres naftenos que típicamente están presentes en la alimentación a la Planta Isomerizadora son: ciclopentano, metil-ciclopentano y ciclohexano. Los anillos nafténicos se hidrogenan para formar parafinas. Esta reacción de rompimiento de anillos se incrementa con el aumento en la temperatura del reactor. A las condiciones típicas de operación del reactor, la conversión de anillos nafténicos a parafinas es del orden de 20 a 40%.

- *Isomerización de naftenos y Saturación de benceno*

El metil-ciclopentano y ciclohexano existen en equilibrio. La isomerización de naftenos favorece la producción de metil-ciclopentano con el incremento de la temperatura. La carga a la Planta puede contener hasta 5% de benceno. El catalizador I-8 saturará el benceno para producir ciclohexano. Esta reacción se efectúa rápidamente y a baja temperatura. La saturación del benceno no está limitada por las condiciones de operación de la Unidad pudiéndose efectuar una conversión del 100%. La reacción de saturación de benceno es de carácter exotérmico, por lo que la generación de calor es el factor limitante



del contenido de benceno que puede tolerarse en la carga a la Unidad. La función del platino en el catalizador es la de efectuar la saturación del benceno.

- **Hidro-desintegración**

La hidro-desintegración se efectúa en el reactor a un grado en que depende de la calidad de la carga y de la severidad de la operación. Las moléculas grandes, tal como los C_7 's, tienden a hidro-desintegrarse más fácilmente que las moléculas pequeñas. Las parafinas C_5 y C_6 también se hidro-desintegrarán pero sólo hasta cierto grado. Cuando la reacción de isomerización de las parafinas C_5 y C_6 se aproxime al equilibrio, entonces el grado de hidro-desintegración se incrementará. Si la isomerización no se efectúa adecuadamente, la hidro-desintegración reducirá la producción de líquido incrementando la producción de calor y generando a su vez metano, etano, propano y butano. (Ref. 9)

3.3 DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS

La mayoría de los equipos de una planta química tienen como fin la transformación de la materia prima y la refinación de los productos finales e intermedios, esto mediante operaciones de transferencia de materia entre las fases. Por ejemplo, la destilación implica la separación de las sustancias de una mezcla homogénea, por la diferencia de sus puntos de ebullición; o la absorción y extracción, que se separan las fases mediante la adición de un agente químico.

En el caso de una planta isomerizadora de pentanos y hexanos, intervienen operaciones clave como: la *reacción catalítica*, efectuada en los reactores de isomerización; la *destilación*, efectuada en la torre de estabilización y la *neutralización*, efectuada en la torre de lavado cáustico. Esto con la ayuda de varios equipos como cambiadores de calor (calentadores, enfriadores, intercambiadores, etc) bombas, entre otros. (Ref. 8)

3.3.1 Reactores, DC-901-A/B

Los reactores de isomerización son recipientes de acero recubiertos de concreto. Tienen una longitud de 10.364m y un diámetro interno de 2.477m. Están diseñados para soportar una presión de 38 kg/cm² y 260°C de temperatura. Aquí es donde se lleva la conversión de pentanos a isopentano y hexanos a 2,3-dimetil-butano, mediante la reacción de isomerización catalítica. Por eliminación directa del ion hidruro. Normalmente reciben una alimentación de 58,129 kg/h alrededor de 117°C y 33.5kg/cm², que se pone en contacto con el catalizador. La operación de cada reactor puede estar en serie con el otro. Durante



la operación de la Unidad, un reactor puede estar en la primera posición o bien en la segunda posición las veces que sea necesario. Cada reactor está empacado con 45.1 m³ de catalizador I-8 de UOP que es un material hecho a base de Pt-Pd soportado en alumina.

3.3.2 Torre Estabilizadora, DA-901

En esta torre se estabiliza el producto isomerizado, el 2,3-dimetil-butano y el isopentano. haciendo una operación de separación del hidrógeno, el ácido clorhídrico y los gases producidos por las reacciones de hidro-desintegración disuelto en la carga líquida, como C₁, C₂, C₃ y C₄. Cuenta con 30 platos tipo perforado (de dos pasos del 1 al 15 y de tres pasos del 16 al 30), sus condiciones de operación son 99°C y 14.8 kg/cm² man en el domo y 161°C y 15.28 kg/cm² man en el fondo. Recibe su alimentación de la corriente de hidrocarburos proveniente de la sección de reacción a 97°C y 15.6 kg/cm² man. Por el domo de la torre se extrae una mezcla gaseosa consistente de hidrógeno, metano, etano, propano, butano, pentanos y ácido clorhídrico a 99°C y 14.8 kg/cm² man. El producto isomerizado se obtiene por el fondo de la torre DA-901 a 161°C.

3.3.3 Torre Lavadora Cáustica, DA-902

Aquí se neutraliza el ácido clorhídrico contenido en los gases provenientes de la torre estabilizadora DA-901 y que se reincorporan a la red de gas combustible de la Refinería. Se alimenta por la parte inferior de la torre lavadora cáustica de gas la corriente de gases provenientes del acumulador FA-910, a 8.5 kg/cm² man y 38°C, de la torre estabilizadora, donde fluye en forma ascendente a contracorriente con una disolución de hidróxido de sodio al 10% peso, llevándose a cabo la reacción de neutralización. Las condiciones de operación de la torre DA-902 son: 35°C y 8.5 kg/cm² man en el domo y 38°C y 8.5 kg/cm² man en el fondo. La parte superior de este equipo, se encuentra empacada con anillos raschig de carbón cuya finalidad es aumentar el área de contacto líquido-gas para hacer más eficiente la operación de neutralización.

3.3.4 Cambiadores de calor

Una de las varias razones por que los equipos o el proceso pueden dañarse, es por efecto de las variaciones de temperatura. En los intercambiadores de calor, la transferencia se realiza fundamentalmente por conducción y convección desde un fluido caliente a otro frío, o viceversa, que está separado por una pared metálica; los cuales sirven para evitar el sobrecalentamiento o sobre-enfriamiento de los equipos y



de las sustancias, para lograr mantener la temperatura que requiere el proceso. En los condensadores, la transferencia de calor se hace por ebullición y condensación. En los enfriadores el flujo caliente (agua) se enfría mezclándose directamente con el fluido frío (el aire) o sea que el agua se enfría por convección y vaporización al pulverizarla o dejarla caer en una corriente inducida de aire.

Las corrientes de fluido que están involucradas en esa forma están separadas entre sí por una pared de tubo. En consecuencia, la transferencia de calor ocurre por la convección desde el fluido más caliente a la superficie sólida, por conducción a través del sólido y de ahí por convección desde la superficie sólida al fluido más frío.

Tal es el caso de los siguientes equipos de la planta isomerizadora:

Tabla 13. Cambiadores de Calor de una Planta Isomerizadora		
Tipo de Cambiador de Calor	Clave	Nombre
intercambiador	EA-908	intercambiador de carga combinada fría (reacción)
	EA-909A/B	intercambiador de carga combinada caliente (reacción)
enfriador	EC-902	1er enfriador del fondo de la torre estabilizadora
	EA-911	2º enfriador del fondo de la torre estabilizadora
Re-hervidor	EA-912	Rehervidor de la torre estabilizadora
	EA-914	Calentador de la Solución Cáustica
Condensador	EC-903	1er condensador del domo de la torre estabilizadora
	EA-913	2º condensador del domo de la torre estabilizadora

3.3.5 Bombas

La utilidad de las bombas consiste en transformar la energía mecánica en energía cinética, generando presión y velocidad en el fluido. Se usan para el transportar fluidos líquidos o gaseosos, cubriendo dimensiones largas y cortas al transportar los, horizontal o verticalmente, a presiones menores o mayores de la presión atmosférica. Existen muchos tipos de bombas para diferentes aplicaciones. Los factores más importantes que se consideran para un sistema de bombeo adecuado son la presión última, presión de proceso, velocidad de bombeo, tipo de gases o líquidos a bombear, etc. Hay bombas que succionan o impulsan una determinada cantidad de fluido sin tener en cuenta las fugas independientemente de la altura de bombeo y otras que comunican la velocidad al líquido generando presión. La carcasa exterior, el eje y el motor (eléctrico o turbina) completan la unidad de bombeo. Las bombas que se utilizan en los procesos de reacción, estabilización y lavado son las siguientes:



Clave	Nombre	Sección
GA-903A/B	bomba de inyección de cloruros	Reacción
GA-904A/B	bomba de reflujo de la torre estabilizadora	Estabilización
GA-921A/B	bomba de sosa cáustica fresca	Lavado cáustico
GA-905A/B	bomba de disolución cáustica agotada	Lavado cáustico

3.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Ahora conoceremos como es el proceso global de la Planta Isomerizadora de Pentanos y Hexanos. Su objetivo es el de isomerizar las parafinas de pentano y hexano, así como también, el de sus mezclas; mediante el "Proceso Penex". Las reacciones se llevan a cabo en una atmósfera de hidrógeno sobre un lecho fijo de catalizador I-8 de UOP, a condiciones de presión y temperatura que favorecen la isomerización y reducen el hidrocraqueo. Dichas condiciones no son severas ya que las presiones son moderadas, las temperaturas son bajas, el espacio velocidad para el catalizador es alto y la presión parcial del hidrógeno es baja. Asimismo, la baja temperatura de operación favorece a una alta conversión de parafinas normales.

Como se dijo anteriormente, la base de este proceso es la isomerización catalítica, la cual convierte las parafinas en compuestos de estructura ramificada con alto índice de octano, tal como de C₅ a isopentano y de C₆ a 2,3-dimetil-butano. Las reacciones de isomerización se desarrollan dentro de un equilibrio limitado, en donde a bajas temperaturas se favorece la producción de isómeros altamente ramificados aproximadamente con una relación de 3 a 1 para pentano y de 9 a 1 para el hexano. Durante el proceso de isomerización se obtienen gas y producto isomerizado, los cuales se recuperan como productos, a lo largo de una secuencia de etapas o secciones del proceso:

- Reacción
- Estabilización
- Lavado cáustico

En esta planta se efectúan principalmente las operaciones de transferencia como: reacción, destilación y neutralización. La *Reacción*, se lleva a cabo en los reactores DC-901A/B, en los cuales los hidrocarburos, pentanos y hexanos, se hacen reaccionar con el hidrógeno y catalizador para producir los



isómeros desecados para reformular las gasolinas. La *Destilación*, se realiza en los platos de la torre estabilizadora DA-901, donde se separan por contactos múltiples los hidrocarburos isomerizados (líquido) de los gases de combustión, hidrógeno y ácido clorhídrico disuelto (gases). La *Neutralización*, se efectúa en la torre lavadora DA-902, donde el ácido clorhídrico de la torre estabilizadora se neutralizan con sosa cáustica, para separarlo de los gases combustibles que se reincorporan a la red de la refinería.

3.4.1 Actualización de Diagramas

Para poder representar los procesos químicos, se utilizaron diversos diagramas:

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

Diagramas de flujo de proceso (DFP): Representa los detalles considerablemente mayores del proceso de la planta, utilizando símbolos que representan los equipos principales del proceso. Aquí destacan las líneas de proceso que contienen: contenido de flujo, temperatura, presión y composición de cada corriente de cada equipo (reactores, torres, tanques, bombas, intercambiadores, motores, etc.). Se anexa, el balance de materia y energía por corriente del proceso, capacidades de servicio, datos de diseño de recipientes y requerimientos especiales de algunos equipos.

Diagramas de tubería e instrumentación (DTI): Representa el proceso minuciosamente, especificando los detalles de cada equipo, válvula, tubería, accesorio, instrumentación y arreglo de la planta. Muestra todas las tuberías que indica las líneas del proceso (líneas gruesas) y de servicios auxiliares (líneas delgadas) para cada equipo del proceso; las cuales contienen las válvulas, accesorios e instrumentación con determinada simbología, así como la especificación de cada línea y las condiciones de operación (presión, temperatura y descripción de fluidos). También incluye toda la instrumentación del proceso, para control, registro e indicación de la operación de la planta. (ver simbología en el anexo)

Así que de estas tres maneras representaremos la descripción del proceso que se efectúa en las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico de una planta isomerizadora, los cuales fueron actualizados en campo y re-dibujados en *Autocad 14*, que sirvan como herramienta elemental para



efectuar el análisis de riesgos. A continuación se muestran los siguientes diagramas para visualizar el proceso:

No. Diagrama	Tipo de Diagrama	Nombre del Diagrama	Pág.
001	Diagrama de bloques	Proceso de Isomerización	Capítulo III
002	DFP	Secciones de Reacción, Estabilización y Lavado Cáustico	Capítulo III
003	DTI	Sección de Reacción (1ª parte)	Anexo
004	DTI	Sección de Reacción (2ª parte)	Anexo
005	DTI	Sección de Reacción ()	Anexo
006	DTI	Sección de Estabilización	Anexo
007	DTI	Sección de Lavado Cáustico	Anexo

Diagrama de bloques del proceso de una planta isomerizadora

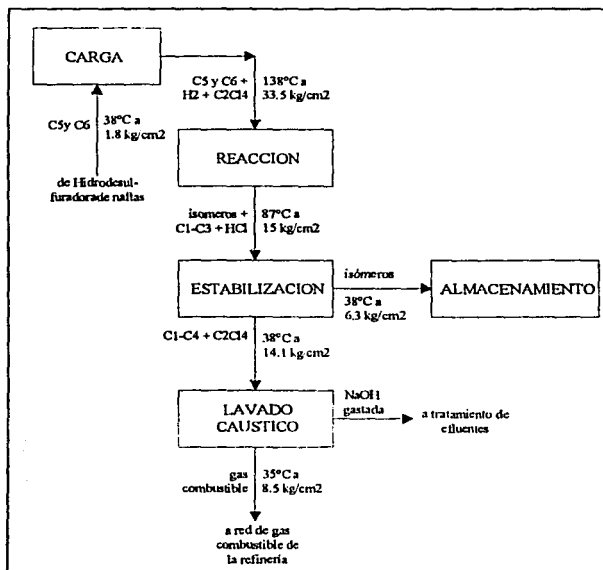
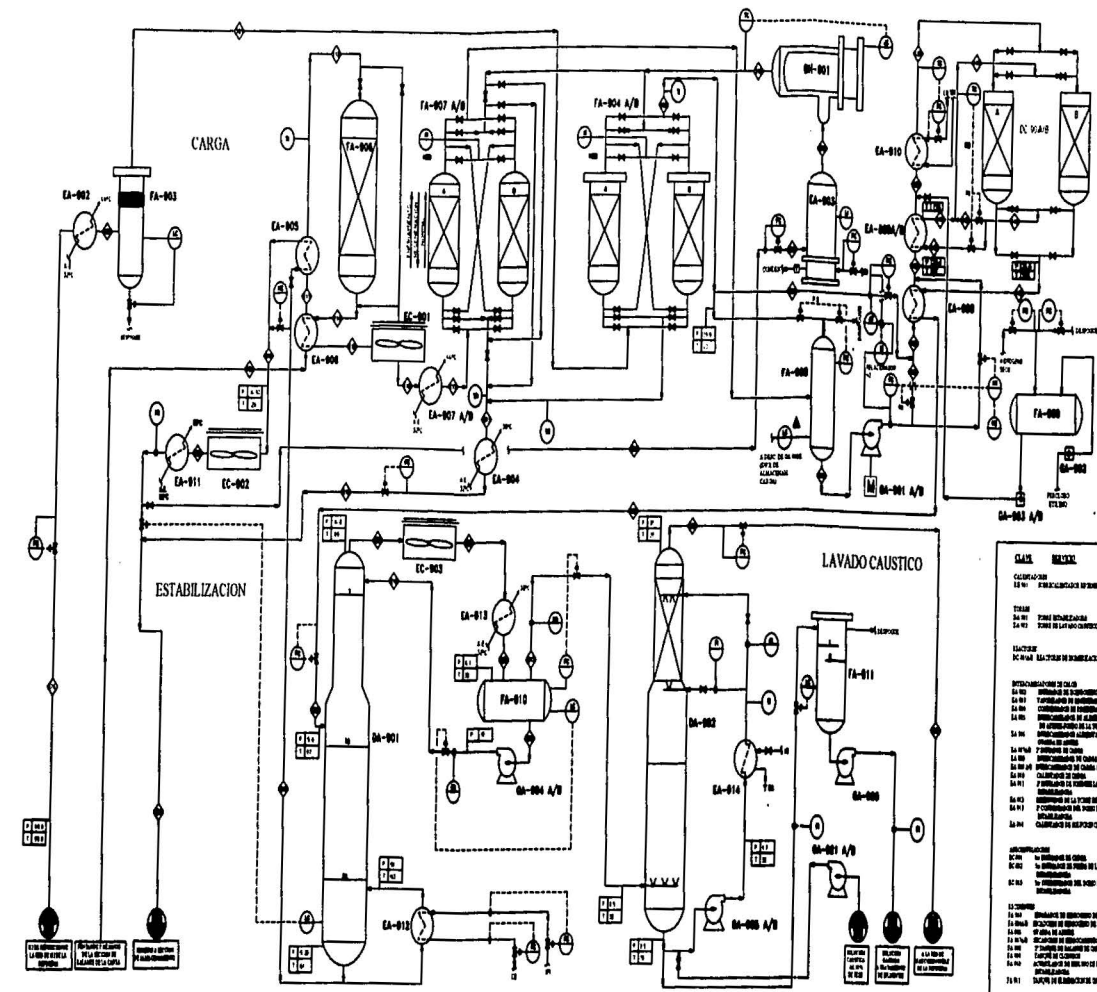


fig. 2 Diagrama de Bloques de una Planta Isomerizadora (Diag. 001)



REACCION

ESTABILIZACION

LAVADO CAUSTICO

CLAVE	DESCRIPCION
CC-901	CONTROL DE TEMPERATURA DE REACCION
CC-902	CONTROL DE TEMPERATURA DE REACCION
EA-901	COMPRESOR DE GAS
EA-902	COMPRESOR DE GAS
EA-903	COMPRESOR DE GAS
EA-904	COMPRESOR DE GAS
EA-905	COMPRESOR DE GAS
EA-906	COMPRESOR DE GAS
EA-907	COMPRESOR DE GAS
EA-908	COMPRESOR DE GAS
EA-909	COMPRESOR DE GAS
EA-910	COMPRESOR DE GAS
EA-911	COMPRESOR DE GAS
FA-901	REACTOR DE REACCION
FA-902	REACTOR DE REACCION
FA-903	REACTOR DE REACCION
FA-904	REACTOR DE REACCION
FA-905	REACTOR DE REACCION
FA-906	REACTOR DE REACCION
FA-907	REACTOR DE REACCION
FA-908	REACTOR DE REACCION
FA-909	REACTOR DE REACCION
FA-910	REACTOR DE REACCION
FA-911	REACTOR DE REACCION
FA-912	REACTOR DE REACCION
FA-913	REACTOR DE REACCION
FA-914	REACTOR DE REACCION
FA-915	REACTOR DE REACCION
FA-916	REACTOR DE REACCION
FA-917	REACTOR DE REACCION
FA-918	REACTOR DE REACCION
FA-919	REACTOR DE REACCION
FA-920	REACTOR DE REACCION
FA-921	REACTOR DE REACCION
FA-922	REACTOR DE REACCION
FA-923	REACTOR DE REACCION
FA-924	REACTOR DE REACCION
FA-925	REACTOR DE REACCION
FA-926	REACTOR DE REACCION
FA-927	REACTOR DE REACCION
FA-928	REACTOR DE REACCION
FA-929	REACTOR DE REACCION
FA-930	REACTOR DE REACCION
FA-931	REACTOR DE REACCION
FA-932	REACTOR DE REACCION
FA-933	REACTOR DE REACCION
FA-934	REACTOR DE REACCION
FA-935	REACTOR DE REACCION
FA-936	REACTOR DE REACCION
FA-937	REACTOR DE REACCION
FA-938	REACTOR DE REACCION
FA-939	REACTOR DE REACCION
FA-940	REACTOR DE REACCION
FA-941	REACTOR DE REACCION
FA-942	REACTOR DE REACCION
FA-943	REACTOR DE REACCION
FA-944	REACTOR DE REACCION
FA-945	REACTOR DE REACCION
FA-946	REACTOR DE REACCION
FA-947	REACTOR DE REACCION
FA-948	REACTOR DE REACCION
FA-949	REACTOR DE REACCION
FA-950	REACTOR DE REACCION
FA-951	REACTOR DE REACCION
FA-952	REACTOR DE REACCION
FA-953	REACTOR DE REACCION
FA-954	REACTOR DE REACCION
FA-955	REACTOR DE REACCION
FA-956	REACTOR DE REACCION
FA-957	REACTOR DE REACCION
FA-958	REACTOR DE REACCION
FA-959	REACTOR DE REACCION
FA-960	REACTOR DE REACCION
FA-961	REACTOR DE REACCION
FA-962	REACTOR DE REACCION
FA-963	REACTOR DE REACCION
FA-964	REACTOR DE REACCION
FA-965	REACTOR DE REACCION
FA-966	REACTOR DE REACCION
FA-967	REACTOR DE REACCION
FA-968	REACTOR DE REACCION
FA-969	REACTOR DE REACCION
FA-970	REACTOR DE REACCION
FA-971	REACTOR DE REACCION
FA-972	REACTOR DE REACCION
FA-973	REACTOR DE REACCION
FA-974	REACTOR DE REACCION
FA-975	REACTOR DE REACCION
FA-976	REACTOR DE REACCION
FA-977	REACTOR DE REACCION
FA-978	REACTOR DE REACCION
FA-979	REACTOR DE REACCION
FA-980	REACTOR DE REACCION
FA-981	REACTOR DE REACCION
FA-982	REACTOR DE REACCION
FA-983	REACTOR DE REACCION
FA-984	REACTOR DE REACCION
FA-985	REACTOR DE REACCION
FA-986	REACTOR DE REACCION
FA-987	REACTOR DE REACCION
FA-988	REACTOR DE REACCION
FA-989	REACTOR DE REACCION
FA-990	REACTOR DE REACCION
FA-991	REACTOR DE REACCION
FA-992	REACTOR DE REACCION
FA-993	REACTOR DE REACCION
FA-994	REACTOR DE REACCION
FA-995	REACTOR DE REACCION
FA-996	REACTOR DE REACCION
FA-997	REACTOR DE REACCION
FA-998	REACTOR DE REACCION
FA-999	REACTOR DE REACCION
FA-1000	REACTOR DE REACCION

CLAVE	DESCRIPCION
EA-901	COMPRESOR DE GAS
EA-902	COMPRESOR DE GAS
EA-903	COMPRESOR DE GAS
EA-904	COMPRESOR DE GAS
EA-905	COMPRESOR DE GAS
EA-906	COMPRESOR DE GAS
EA-907	COMPRESOR DE GAS
EA-908	COMPRESOR DE GAS
EA-909	COMPRESOR DE GAS
EA-910	COMPRESOR DE GAS
EA-911	COMPRESOR DE GAS

CLAVE	DESCRIPCION
FA-901	REACTOR DE REACCION
FA-902	REACTOR DE REACCION
FA-903	REACTOR DE REACCION
FA-904	REACTOR DE REACCION
FA-905	REACTOR DE REACCION
FA-906	REACTOR DE REACCION
FA-907	REACTOR DE REACCION
FA-908	REACTOR DE REACCION
FA-909	REACTOR DE REACCION
FA-910	REACTOR DE REACCION
FA-911	REACTOR DE REACCION

CLAVE	DESCRIPCION
CC-901	CONTROL DE TEMPERATURA DE REACCION
CC-902	CONTROL DE TEMPERATURA DE REACCION

CLAVE	DESCRIPCION
EA-901	COMPRESOR DE GAS
EA-902	COMPRESOR DE GAS
EA-903	COMPRESOR DE GAS
EA-904	COMPRESOR DE GAS
EA-905	COMPRESOR DE GAS
EA-906	COMPRESOR DE GAS
EA-907	COMPRESOR DE GAS
EA-908	COMPRESOR DE GAS
EA-909	COMPRESOR DE GAS
EA-910	COMPRESOR DE GAS
EA-911	COMPRESOR DE GAS

PEMEX-REFINACI

UNIDAD NACIONAL AUTONOMA DE FACULTAD DE QUIMICA COME Y LIA

PROGRAMA DE FLUJO DE PROCESO DE LAS SECCIONES DE REACCION, ESTABILIZACION Y LAVADO CAUSTICO DE UNA PLANTA BOMBERIZADORA DE C3 Y C4



3.4.2 Sección de Reacción

La Sección de Reacción del "Proceso Penex" cuenta con dos reactores de isomerización en serie, el DC-901A y el DC-901B, los cuales cuentan con el catalizador distribuido entre los dos, con válvulas y tubería que permiten que cualquiera de ellos se pueda operar como primer reactor o como segundo reactor. En cada reactor se tienen instalados sensores de temperatura dentro del lecho de catalizador para monitorear su actividad. Aquí se llevan a cabo las reacciones de isomerización.

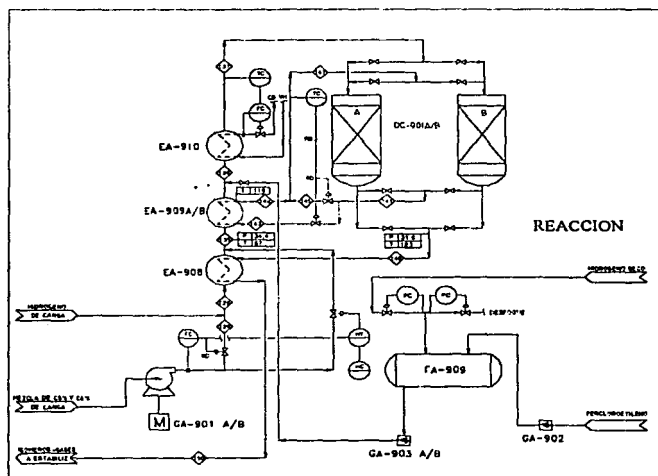


fig. 3 Sección de Reacción de la Planta de una Isomerizadora

La corriente de alimentación de los reactores es una mezcla de tres corrientes provenientes de la sección de acondicionamiento de carga de la misma Unidad Isomerizadora: una es la corriente de pentanos y hexanos libre de azufre y humedad (H_2O), otra es una corriente de hidrógeno de reposición, también libre de humedad (H_2O) y por último una corriente de percloroetileno (C_2Cl_4) que es un promotor del catalizador.

¿Cómo se efectúa la mezcla de alimentación? La corriente de pentanos y hexanos proviene del segundo tanque de balance de carga FA-908, que es bombeada con la GA-901A/B, se mezcla con el hidrógeno de reposición, que viene libre de humedad de los secadores de H_2 de reposición. Esta mezcla es precalentada, en un intercambiador de carga combinada fría EA-908 hasta $87^\circ C$, con la corriente del fondo



del segundo reactor de isomerización DC-901B que fluye por el lado de los tubos de dicho intercambiador a 123°C; y que además, cuenta con un bypass para controlar el flujo de dicha mezcla. A continuación, esta nueva corriente de hidrocarburos e hidrógeno, se mezcla con la corriente del promotor de catalizador, la cual se precalienta en el intercambiador de carga combinada caliente EA-909A/B hasta 101°C, con la corriente del fondo del primer reactor de isomerización DC-901A que fluye por el lado de los tubos del intercambiador a 150°C. Finalmente, se calienta la mezcla de alimentación de Hidrocarburos, H₂ de reposición y C₂Cl₄ en el calentador de carga hasta 138°C para poder entrar al primer reactor de isomerización DC-901A

¿Cómo operan los reactores? La corriente de alimentación entra al primer reactor de isomerización DC-901A por el lado del domo, a 138°C y 33 Kg/cm² man, recorre el reactor, efectuándose ahí las reacciones de isomerización, es decir, se convierten las parafinas en los isómeros deseados, por el mecanismo analizado anteriormente. Por el fondo de dicho reactor, sale producto formado y reactivos sin reaccionar, por lo que se le hace pasar por el intercambiador de carga combinada caliente EA-909A/B y así aprovechar su transferencia de energía en dos funciones: en primera, para disminuir y remover parcialmente el calor de las reacciones de isomerización a 122°C y así poder entrar al segundo reactor; y en segunda, como ya habíamos explicado, para precalentar la mezcla de HC, H₂ y C₂Cl₄. La corriente a 122°C entra por el domo del segundo reactor de isomerización DC-901B para completar la conversión deseada del proceso de isomerización. Similarmente al primer reactor, la corriente del fondo del segundo reactor, que sale a 123°C y 31.6 Kg/cm² man, aprovecha su transferencia de energía cuando pasa por el intercambiador de carga combinada fría EA-908, pues después de precalentar la mezcla de HC y H₂ (explicada en la alimentación de esta sección) y enfriarse hasta 99°C, se envía hacia la torre estabilizadora DA-901, controlando su presión (ver DTI de sección reacción a y b en el anexo)

3.4.3 Sección de Estabilización

Del fondo del segundo reactor de isomerización de la sección de reacción, proviene la corriente de alimentación de la Torre Estabilizadora DA-901 y aquí se separan aquellos compuestos que no reaccionaron en la isomerización, como el hidrógeno, el HCl y los gases del craqueo (como C₁, C₂ y C₃) y que aun se encuentran en la corriente del producto isomerizado.

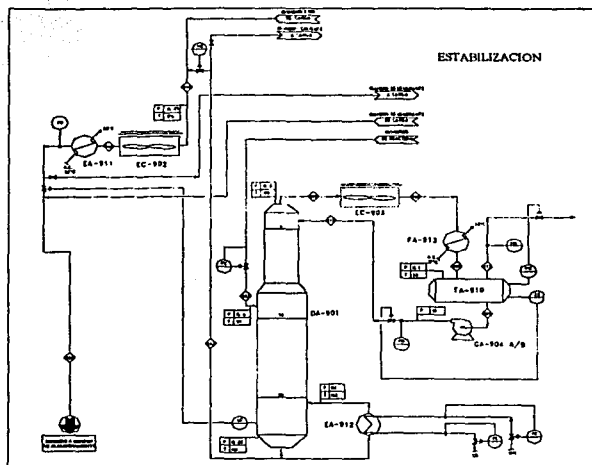


fig. 4 Sección Estabilización de la Planta de una Isomerizadora

Por el lado del domo de la torre salen los gases no descados en el producto isomerizado, los cuales se encuentran a 99°C y $14.8 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man}$. Esta corriente se enfría en dos etapas: una haciéndola pasar al primer condensador de la torre estabilizadora EC-903 (enfriador con aire) hasta 55°C y después al segundo condensador de la torre estabilizadora EC-913 (enfriador con agua) hasta 30°C . Así, dicha corriente de gases fríos se envía al acumulador de reflujo de la torre estabilizadora FA-910 de donde todo el líquido recibido se envía, mediante el bombeo de la GA-904A/B, al plato No. 1 de la torre estabilizadora. Para mantener controlada la presión de la torre estabilizadora, se efectúa un envío continuo de gas hacia la Torre lavadora cáustica de gas DA-902.

Por el fondo de la torre estabilizadora, sale el producto líquido isomerizado, a 161°C y $15.28 \text{ Kg/cm}^2 \text{ man}$, libre de gases. Una parte se alimenta al rehervidor de la torre estabilizadora EA-912, que utiliza vapor de media presión como medio de calentamiento, para retomar al fondo de la torre cumpliendo la función de calentar la mezcla de la torre y separar el líquido de los gases por ebullición. La otra parte se enfría cediendo calor en el intercambiador de alimentación a la guarda de azufre-fondos de la torre estabilizadora EA-905, en donde se enfría hasta 126°C ; en el primer enfriador de fondos de la torre estabilizadora EC-902 (con aire), enfriándose hasta 55°C y en el segundo enfriador de fondos de la torre estabilizadora EC-911 (con agua), en donde se enfría hasta 38°C . Ya frío este producto isomerizado, una



parte se utiliza para efectuar la regeneración de los secadores tanto de carga líquida (en los FA-907A/B) como de hidrógeno de reposición (en los FA-904A/B). Finalmente el resto del producto se envía hacia almacenamiento. (ver DTI de sección estabilización en el anexo)

3.4.4 Sección de Lavado Cáustico

En esta sección se remueve, en la Torre Lavadora Cáustica DA-902, el ácido clorhídrico HCl contenido en el gas, que proviene del acumulador de reflujo de la torre estabilizadora DA-901. La corriente de gas que se alimenta a la torre lavadora entra a 38°C y 8.5 Kg/cm² man. El lavado se logra haciendo pasar la corriente gaseosa a contracorriente con una solución de NaOH al 10% peso. Los gases libres de HCl salen por el domo de la torre, enviándose a control de presión a la red o sistema de gas combustible de la Refinería a 35°C y 7.2 Kg/cm² man.

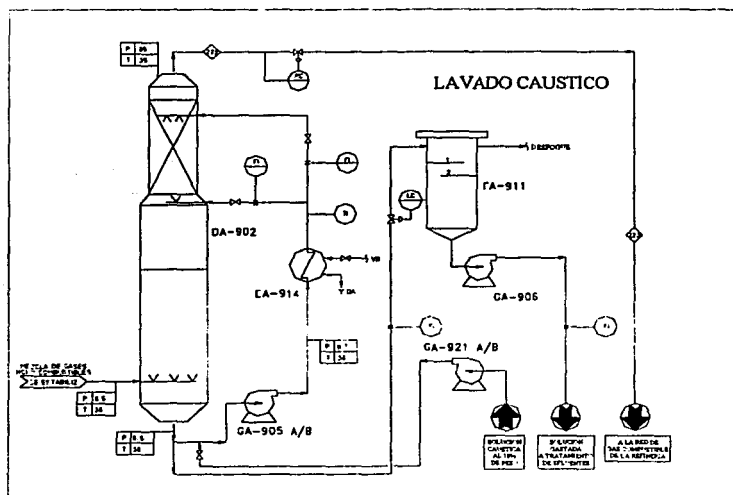


fig. 5 Sección Lavado Cáustico de la Planta de una Isomerizadora

Los gases lavados se analizan para determinar los moles de hidrógeno que salen del sistema para ajustar en forma manual la relación hidrógeno/hidrocarburo en la sección de reacción. La solución cáustica de reposición, bombeada por la GA-921A/B, se alimenta periódicamente una vez por semana, a la sección inferior de la torre lavadora. La solución cáustica del fondo de la torre se recircula a la misma



mediante bombeo de la GA-905A/B, antes de haber pasado por el calentador de solución cáustica EA-914 en donde se calienta la disolución de sosa hasta 38°C. De la solución cáustica recirculada, una parte se lleva al domo de la torre y la otra se alimenta a un distribuidor localizado por debajo de la sección empacada. Los flujos de recirculación de solución cáustica a la torre lavadora se controlan en forma manual.

La disolución cáustica gastada que se extrae del fondo de la torre lavadora, se envía al tanque de eliminación de gas FA-911 a control de nivel. Ya eliminado el gas se envía la solución cáustica agotada, a 38°C y 11.7 Kg/ cm² man, hacia la planta de sosas gastadas de la Refinería, a través de la bomba de solución cáustica agotada GA-906. (ver DTI de sección lavado cáustico en el anexo)



Capítulo IV

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS PARA LA PLANTA ISOMERIZADORA

4.1 RESULTADOS

4.1.1 Comparación de las diferentes Técnicas de Análisis de Riesgos

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

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

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

Tabla 16A. Técnicas contra Etapas de Ingeniería							
Técnicas de Análisis de Riesgos	Etapas de Ingeniería						
	Perfil	Ing. Concep.	Ing. Básica	Ing. de Detalle	Montaje	Puesta en Marcha	Operac.
Código de Seguridad	x						x
Revisión de Seguridad			x	x	x	x	x
Lista de Verificación	x	x	x	x	x	x	x
Histórico de Accidentes							x
Índices Dow y Mond				x			x
¿Qué pasaría si?	x	x	x	x	x	x	x
Modos de fallas y efectos		x	x	x	x	x	x
PHA	x	x	x		x	x	x
Error Humano			x	x	x	x	x
ETA			x	x		x	x
Análisis de Consecuencias			x	x		x	x
FTA			x	x		x	x
HazOp		x	x	x	x	x	x



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

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

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

Tabla 16B. Técnicas contra Alcance y Resultados

Técnica de Análisis de Riesgo	Alcance		Resultado	
	comparativo	generalizado	cuantitativo	cualitativo
Código de Seguridad	x			x
Revisión de Seguridad	x			x
Lista de Verificación	x			x
Análisis históricos de Accidentes	x			x
Índices Dow y Mond		x	x	
Que pasaría si?		x		x
Análisis de Modos de fallas y efectos		x		x
Análisis Preliminares de Riesgos		x		x
Análisis de Error Humano		x		x
Análisis de Árbol de Evento		x	x	
Análisis de Consecuencias		x	x	
Análisis de Árbol de Fallas		x	x	
Análisis de Riesgos y Operabilidad		x	x	

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



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

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

Tabla 17. Técnicas Contra Disponibilidad de Herramientas

Técnica de Análisis de Riesgos	Información controlada	Software o Programa	Cálculos	Personal para realizar el análisis	
				1	2 o mas
Código de Seguridad	x			x	
Revisión de Seguridad	x				x
Lista de Verificación	x				x
Histórico de Accidentes	x			x	
Índices Dow y Mond		x	x		x
¿Qué pasaría si?	x				x
Modos de fallas y efectos			x	x	
PHA	x				x
Error Humano	x				x
ETA			x	x	
Consecuencias		x		x	
FTA			x	x	
HazOp		x			x

D. Comparación de acuerdo al objetivo del análisis de riesgos

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

Tabla 18. Técnicas Contra Objetivo

Técnica de Análisis de Riesgos	Objetivo
Códigos de seguridad	Dar lineamientos para diseño, fabricación, distribución, instalación, operación, modificación y desmantelamiento de la planta.
Revisiones de seguridad	Evaluar el cumplimiento de los procedimientos de trabajo, normas en el diseño, condiciones, operación y mantenimiento de la planta.
Listas de verificación	Evaluar materiales, equipos y procedimientos en cuanto a deficiencias



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

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

Criterio de Selección de la Técnica de Análisis

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



- el Análisis de Consecuencias, que mediante la ayuda del programa *Phast Profesional versión 6.0*, se pueden analizar los riesgos en el proceso, en función de la mezcla de materiales flamables y explosivos, como son los pentanos y hexanos. Proporciona el área de riesgo si llega a incendiarse o explotar algún equipo como consecuencia del derrame o fuga de los materiales mencionados.
- el Análisis de Árbol de Fallas, sirve para indagar sobre las causas que originen un evento indeseado. Además el árbol puede ser optimizado por cálculos mediante álgebra booleana para poder cuantificar el riesgo real, calculando su probabilidad de ocurrencia con conjuntos mínimos.
- el Análisis de Riesgos y Operabilidad, es una técnica muy completa que, de manera sistemática y detallada, ayuda a encontrar los riesgos por desviaciones en la operabilidad del proceso. Proporcionando las recomendaciones para la mejora de la operación del proceso, esto con la colaboración de un grupo multidisciplinario.

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

4.1.2 Resultados del Análisis de Consecuencias

El Análisis de Consecuencias evalúa los posibles efectos que se puedan suscitar, después de haberse provocado el accidente. Este análisis se aplica a escenarios donde se esté en riesgo de generar incendios y explosiones, ya sea por derrames, fugas, etc. de sustancias inflamables o combustibles. Para ello es necesario definir el escenario del riesgo al que esta expuesta la sección que se va a analizar.

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

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



Mediante el programa *Archie versión 1.0* se analizan los incidentes causados solo por sustancias inflamables o combustibles y no para mezclas. Este programa puede ayudar a predecir los resultados ya sea como: el flujo de descarga del líquido derramado o la fuga de gas, el área del charco del líquido derramado o la nube de gas generada, así como también, los riesgos de la radiación de bolas de fuego, flamas jet o nubes de vapor de fuego generados en el incendio o explosión, también ayuda a predecir la ruptura del material del equipo que resguarda a la sustancia inflamable o combustible, e incluso predice la explosión del sólido o líquido expuesto.

El programa *Phast Profesional Versión 6.0*, da como resultado los efectos de un evento indeseable a partir de datos reales de la Planta por analizar, ya que cuenta con una base de datos muy extensa donde incluye casi todas o la mayoría de las propiedades fisicoquímicas de cada sustancia química (registrada con un número CAS). Este programa fue elaborado bajo los lineamientos y reglas de la EPA (Environmental Protection Agency) en Estados Unidos, expedidos por la CAA (Clean Air Act) para la prevención de accidentes químicos.

Estos lineamientos y reglas se agrupan en la *lista de reglas*, publicadas en la CFR (Code of Federal Regulations) parte 68.130, las cuales se actualizan continuamente y pueden ser consultadas por el público interesado. Y en las *reglas RPM* (Risk Management Planning), que describen las acciones que las instalaciones y fuentes de riesgos químicos más relevantes, deben desarrollar e implementar programas de manejo y prevención de riesgos. Este programa cuenta con varios modelos para analizar las consecuencias del riesgo generado por un determinado escenario de interés. Principalmente se usan los siguientes modelos:

1. Modelo de descarga de líquido inflamable/explosivo
2. Modelo de dispersión de nube de vapor
3. Modelo de "dardo de fuego" (Jet Fire)
4. Modelo de vaporización de "charco de fuego" (Pool Fire)
5. Modelo BLEVE
6. Modelo TNT (trinitrotolueno)

En general, de cualquier programa utilizado, los resultados generados son el resultado de la información que se le proporciona como: datos del equipo (tamaño, capacidad, características de diseño, etc.), datos de las sustancias involucradas (temperatura, presión, concentración, toxicidad, límites de inflamabilidad, etc.), condiciones de operación, etc. Y por ello se deben analizar y cuestionar para ver si son confiables o no, ya que se puede obtener resultados erróneos por exceso o por defecto, que se pueden traducir como exageración del riesgo o ligereza en la prevención del riesgo.



El Análisis de Consecuencias se utilizó para analizar el Reactor DC-901A o B, porque aquí es donde se efectúan las reacciones principales de la planta isomerizadora, y se considera como uno de los equipos más críticos, el cual debe estar estrictamente controlado. Se decidió realizar el siguiente análisis con el programa *Phast*, el cual se desarrolló así:

1. Escenario del riesgo al que puede estar expuesto la DC-901A/B

Fuga de mezcla explosiva por la brida de descarga de 8" de diámetro en el Reactor DC-901A o DC-901B de la Planta Isomerizadora de Pentanos y Hexanos.

2. Parámetros de entrada

Tabla 19. Composición de la Mezcla Explosiva de C₅'s Y C₆'s

Gases	% mol	Líquidos	% mol
H2	4.73	iC5	30.44
C1	0.4	nC5	9.7
C2	0.35	CP	1.88
C3	0.93	22DMB	15.39
iC4	1.22	23DMB	5.08
nC4	0.28	2MP	16.07
		3MP	7.04
Total Gases	7.91	nC6	5.95
Total Líquidos	92.08	22DMP	0.53

Tabla 20. Propiedades Físicoquímicas de la Mezcla

Peso Molecular	75.05	g/gmol
Temperatura de Ebullición	-235.7	°C
Presión Crítica	31.64	bar
Temperatura Crítica	184.3	°C
IDLH	2.477	m
LiE	7.65	%
LSE	1.4	%

Tabla 21. Características del Reactor

Tipo de contenedor	cilindrico horizontal	
Presión de diseño	38	kg
Temperatura de diseño	260	°C
Tolerancia a la corrosión	3.2	mm
Altura del Reactor	10.364	m
Diámetro del Reactor	2.477	m
Presión de descarga	31.5	bar
Temperatura de descarga	123	°C
Cantidad de material para descarga	1.997x10 ⁴	kg



Tabla 22. Escenario		
Tipo de evento	fuga	
Fase dentro del reactor	liquida	
Diámetro de la fuga	7.62	mm
Cabeza del tanque	8.4	m
Estado del dique	no hay dique presente	
Dirección de la descarga	Horizontal	
Inflamabilidad		
Método por Explosión	TNT (trinitrotolueno)	
Método <i>Jet Fire</i> ("dardo de fuego")	Shell (concha)	
Dispersión		
Lugar de la ignición	No se especifica	
Cantidad del material disperso	1.997×10^4	kg
Parámetros del <i>Jet Fire</i>		
Radiación nivel 1	1.4	kW/m ²
Radiación nivel 2	5	kW/m ²
Radiación nivel 3	12.5	kW/m ²
Parámetros de la explosión TNT		
Eficiencia de la explosión TNT	5	%

Tabla 23. Condiciones del Clima	
Velocidad del viento	7 m/s
Estabilidad de Pasquill	F
Temperatura atmosférica	30 °C
Temperatura de la superficie	30 °C
Humedad Relativa	0.7 fracc

Se determino una estabilidad F, de acuerdo al criterio de estabilidad de Pasquill como se muestra a continuación:

Tabla 24. Estabilidad de Pasquill		
A	estable	Noches con nubes moderadas y vientos moderados
A/B	Instable	Como en A solo menos soleado y mas nublado
B	Instable	Como con A/B solo menos soleado y mas nublado
B/C	moderadam. inestable	Sol y viento moderado
C	moderadam. inestable	Muy nublado
C/D	moderadam. inestable	Sol moderado y vientos ligeros
D	Neutral	Poco sol, nubes altas, noches nubladas
E	Moderadam. Estable	Menos noches nubladas
F	Estable	Nubes moderadas y vientos ligeros y moderados
G	Muy estable	Posible neblina



3. Resultados del Análisis de Consecuencias por el PHAST

Fracción de líquido	0	
Temperatura final	7.22	°C
Velocidad final	106.11	m/s
Diametro de gota	0	mm
Datos de descarga continua:		
Flujo másico	1.49	kg/s
Duración de la descarga	900.00	s
Velocidad del orificio	106.11	m/s
Presión de la salida	1.01	
Temperatura de salida	120.21	°C
Coefficiente de descarga	0.60	
Radio de expansión	0.04	m

Concentración (adimensional)	Tiempo promedio (s)	Distancia (m)
UFL 0.079	18.75	No hay peligro
LFL 0.012	18.75	No hay peligro
½ LFL 0.006	18.75	32.0606

Forma	Elipse	
Efectos de Radiación	si hay peligro	
Radiación (kW/m ²)	Distancia (m)	
1.4	47.3735	
5	33.6125	
12.5	27.6332	
Poder de emision de la flama	115.58 kW/m ²	
Radio de expansión	0.04 m	
Velocidad del jet	106.11 m/s	
Longitud de la flama	18.02 m	

Lugar de la explosión	delante de la nube (a ½ LFL)	
Distancia del origen de la ignición	30 m	
Masa flamable suministrada y utilizada	0.672462 kg	
Distancia máxima (m) al nivel de sobrepresión:		
Sobrepresión (bar)	Distancia (m)	Radio de sobrepresión (m)
0.0344738	45.7306	15.7306
0.0689476	39.5767	9.5767
0.137895	36.0357	6.03566



4. Graficas de las Consecuencias por fuga en el Reactor DC-901 A o B

Modelo explosión TNT

Fig. 6 Gráfica de Explosión Temprana por Sobrepresión (psi) contra Distancia a favor del viento(m)

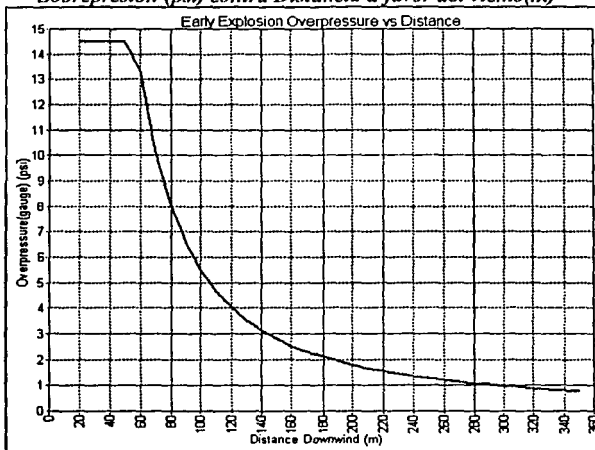
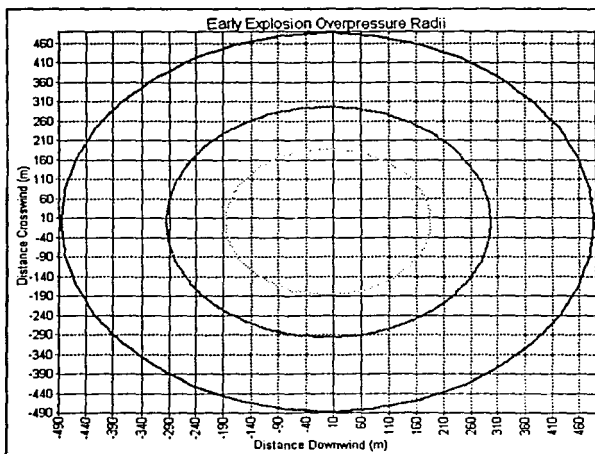


fig. 7 Gráfica del Radio (m) de la Explosión Tardía Distancia a contra viento vs Distancia favor del viento (m)



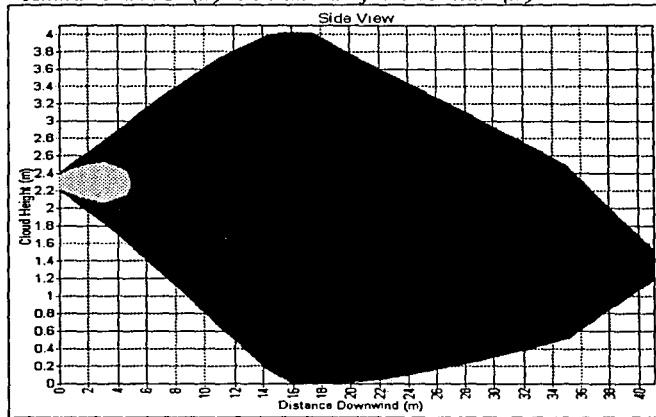
Radio, Presión
 $r = 185m, 2 \text{ psi}$
 $r = 285m, 1 \text{ psi}$
 $r = 485m, .5 \text{ psi}$



b) Modelo de Dispersión de la Fuga en el reactor DC-901A/B

fig. 8 Vista lateral de la fuga por una brida
 Altura de la nube (m) vs Distancia a favor de viento (m)

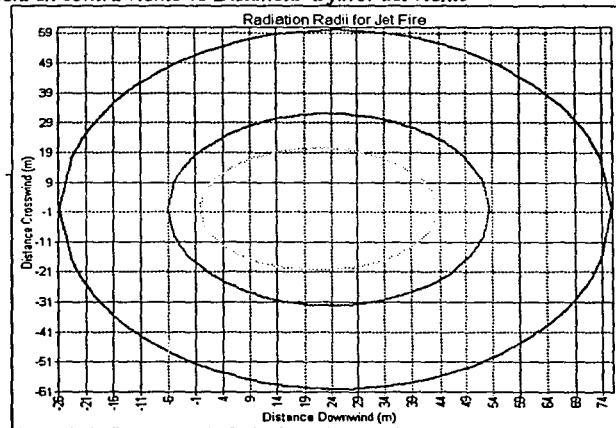
Efectos
 tóxicos = 600s
 $C1 = 0.00648$
 $C2 = 0.01296$
 $C3 = 0.07934$



c) Modelo Dardo de Fuego (Jet Fire)

fig. 9 Radio de Radiación del Dardo de Fuego
 Distancia en contra viento vs Distancia a favor del viento

$r = 44 \text{ m}, 19 \text{ m}$
 $r = 54 \text{ m}, 34 \text{ m}$
 $r = 76 \text{ m}, 59 \text{ m}$





5. Comentario sobre los resultados del análisis de consecuencias

El Modelo de Dispersión, nos indica que la descarga será totalmente en fase gas. nos indica los parámetros de velocidad y tiempo de dispersión de la nube (106 m/s a 7.22 °C). El Modelo de Jet Fire (dardo de fuego) nos ayudó a determinar las condiciones de cuando la mezcla es fugada por el orificio de ½" (7.62 mm) a una presión de 31.5 bar. El modelo de explosión TNT, nos ayuda a determinar el alcance de una explosión de la nube formada en el "Diagrama de localización de las áreas de afectación por explosión del reactor DC-901A o B" (ver Diagrama # 008, anexo). Con los datos proporcionados de las gráficas anteriores y la escala del diagrama de localización de equipos (plot-plan) de la planta isomerizadora, podemos elaborar un diagrama que indique las áreas de afectación de la explosión del Reactor DC-901A/B por sobrepresión por fuga de mezcla explosiva.

La descarga es casi instantánea, la zona de expansión es de 0.0006388 m (0.6388 mm) y la dispersión comienza como un chorro. Esta dura aproximadamente 15 min (900 s). El centro de la nube alcanza la concentración UFL (upper flamability limit) de 0.07934 a una distancia de 3.07 m en 0.0877 s. El limite de la nube se encuentra a una distancia de 6.78 m y 0.3942 s. El centro de la nube a la concentración LFL (lower flamability limit) de 0.01296 a la distancia de 12.63 m y 349 s. El centro de la nube alcanza la concentración ½ LFL de 0.00648 a la distancia de 32.82 m a 6.712s. Por lo que la dispersión terminará a la concentración de 0.0065. Los cálculos para la nube inflamable usan dicha concentración en un tiempo promedio de 18.75 s.

Recomendación del Análisis de Consecuencias: Los resultados generados por el programa, demuestran las grandes consecuencias que puede tener la fuga de hidrocarburos en la descarga de alguno de los reactores de la planta, que además de perderse producto, puede ocasionar dispersión de gases tóxicos, un "dardo de fuego" de 18m a 106m/s (aprox.), incluso puede generar una explosión por formación de nube de vapor, derrame o ruptura del reactor sobrepresurizado. Los efectos por la explosión de una nube de vapor, puede ocasionar daños desde 14 m de distancia del reactor hasta 200m a la redonda (observar diagrama del Análisis de Consecuencias). Se recomienda que el área de seguridad en la cual el personal de contra incendio puede actuar para sofocar el incendio es a partir de 20 m. del punto de afectación. Con la información que proporciona el análisis de consecuencias se puede elaborar planes y procedimientos de emergencia, así como rutas de evacuación y zona de seguridad con lo que se mitigaran las consecuencias. Así como difundir los riesgos de explosión o incendio en la planta.



4.1.3 Resultados del Análisis por Árbol de Fallas

La técnica del por árbol de fallas podemos deducir los accidentes particulares (fallas) de un determinado sistema a partir del análisis de las causas que los ocasionan. Como ya se explicó anteriormente, es un método gráfico que permite “desmembrar” todas las posibles causas que dan origen al evento culminante. Los pasos para realizar este análisis fueron los siguientes:

- Definir el evento culminante
- Elaboración del árbol de fallas
- Optimización del árbol de fallas
- Cálculo de la probabilidad de ocurrencia del evento culminante

1. Evento Culminante

La sección de estabilización de la planta isomerizadora, es muy importante pues aquí el producto isomerizado se separa de la fase gaseosa (consistente en H_2 , HCl y los gases del craqueo C_1 , C_2 y C_3 's). El equipo principal de esta sección es la torre estabilizadora, por lo que su falla sería muy peligrosa para la planta. Por ello se planteó como evento culminante lo siguiente: “Falla por Alta Presión de la Torre Estabilizadora DA-901”.

2. Elaboración del Árbol de Fallas

El árbol de fallas es como un árbol genealógico en el que el evento culminante es la cabeza del árbol (primer nivel); después de este evento, se derivan otros eventos en un segundo nivel que son las causas que originan el primer nivel. Posteriormente, de cada evento del segundo nivel se derivan mas eventos formando un tercer nivel y así sucesivamente, hasta llegar a los eventos mas simples o “eventos raíces”. Para ver la terminología del árbol de fallas consultar la Tabla 4 de la pág. 22.

En la página anterior se muestra el “*Diagrama propuesto como resultado del Análisis de Árbol de falla por alta presión en la torre estabilizadora DA-901*” (ver Diagrama # 009, anexo).

La información para elaborar el árbol de fallas, se recopiló de:

- la experiencia de asesores e ingenieros de la planta
- del manual de operación de la planta isomerizadora
- de la bibliografía reportada de fallas similares



3. Cálculo de la Probabilidad de ocurrencia del Evento Culminante

a. Optimización del Árbol de Fallas mediante Álgebra Booleana

Como se puede observar en el Diagrama del Árbol de Fallas, se repiten varios eventos, como: Falla por mantenimiento, Falla por error humano, entre otros. Si a cada evento le asignamos su probabilidad (las cuales se estimarán mas adelante con conjuntos mínimos), las cuales al sumarse darán una probabilidad mayor, pero exagerada. Por ello se recurre al Álgebra Booleana, donde las operaciones son distintas al Álgebra Lineal. Por ejemplo cuando un evento se repite, en el álgebra lineal se multiplica, pero en el álgebra booleana solo se deja un evento no importando si hay dos o 10 o mas. Para optimizar el árbol, se utilizan principalmente las propiedades de identidad y de absorción, las cuales permiten tener valores de probabilidad de ocurrencia reales. Para ver las propiedades del Álgebra Booleana consultar Tabla 6 de la pag. 23.

Primero se numeró a cada evento no desarrollado como M_i y a los eventos básicos como B_i , donde i es el número secuencial del evento. De un lado de la ecuación esta el evento culminante y del otro se encuentran las sumas de los eventos de los subniveles. La intención es dejar el lado derecho de la igualdad en términos de eventos básicos. A continuación se muestra como se desarrolló la ecuación para obtener la probabilidad del evento culminante con el álgebra booleana.

Desarrollo de la ecuación con álgebra booleana

$$1^{\circ} \quad T = M1 + M2 + M3 + M4 + M5 + M6$$

$$2^{\circ} \quad T = (B1 + B2 + M7) + (B3 + B4 + M8) + (M9 + M10) + (M11 \bullet M12) + (B5 + B6) + (B1 + M7 + B7 + B8)$$

$$3^{\circ} \quad T = (B1 + B2 + M7) + (B3 + B4 + B1 + B12 + B13 + B14 + M7) + [(B15 \bullet B16 \bullet B17) + (B15 \bullet B16 \bullet B17)] + [(M13 + B18) \bullet (M14 + B19)] + (B5 + B6) + (B7 + B8)$$

$$T = B1 + B2 + B3 + B4 + B5 + B6 + B7 + B8 + (B9+B10+B11) + (B12 + B13 + B14) + (B15 \bullet B16 \bullet B17) + [(M13 + B18) \bullet (M14 + B19)]$$



14

$$T = \sum_{i=1}^{14} B_i + (B_{15} \cdot B_{16} \cdot B_{17}) + [(B_1 + M_7 + B_{20} + B_{21} + B_{18}) \cdot (B_1 + M_7 + B_{22} + B_{23} + B_{19})]$$

14

$$T = \sum_{i=1}^{14} B_i + (B_{15} \cdot B_{16} \cdot B_{17}) + [(B_1 + B_1 \cdot M_7 + B_1 \cdot B_{22} + B_1 \cdot B_{23} + B_1 \cdot B_{19} + (M_7 + M_7 \cdot B_1 + M_7 \cdot B_{22} + M_7 \cdot B_{23} + M_7 \cdot B_{19}) + (B_{20} \cdot B_1 + B_{20} \cdot M_7 + B_{20} \cdot B_{22} + B_{20} \cdot B_{23} + B_{20} \cdot B_{19}) + (B_{21} \cdot B_1 + B_{21} \cdot M_7 + B_{21} \cdot B_{22} + B_{21} \cdot B_{23} + B_{21} \cdot B_{19}) + (B_{18} \cdot B_1 + B_{18} \cdot M_7 + B_{18} \cdot B_{22} + B_{18} \cdot B_{23} + B_{18} \cdot B_{19})]$$

14

$$T = \sum_{i=1}^{14} B_i + (B_{15} \cdot B_{16} \cdot B_{17}) + B_1 + M_7 + [(B_{19} + B_{22} + B_{23}) \cdot (B_{18} + B_{20} + B_{21})]$$

14

$$T = \sum_{i=1}^{14} B_i + (B_{15} \cdot B_{16} \cdot B_{17}) + [(B_{19} + B_{22} + B_{23}) \cdot (B_{18} + B_{20} + B_{21})]$$

b) Probabilidad del evento culminante mediante conjunto mínimos

Al tener la ecuación, solo falta asignar a cada evento básico una probabilidad, las cuales se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 29. Probabilidades del Evento Básico	
EVENTO BASICO	PROBABILIDAD
B1 = falla de aire de instrumentos	1E-03
B2 = falla humana: el operador abre PV-8908 al 100%	1E-02
B3 = alto nivel en FA-910	1E-03
B4 = incremento en el suministro de C5/C6 del DC-901A/B	1E-03
B5 = falla en mantenimiento (calibración y prueba)	1E-05
B6 = falla humana de PSV-14 (calibrada a mayor presión)	1E-02
B7 = falla de PIC-9008	1E-03
B8 = falla del PT-9008 no sensa presión	1E-03
B9 = procedimiento inadecuado	1E-05



B10 = el procedimiento no se aplica correctamente	1E-05
B11 = refaccionamiento inadecuado	1E-05
B12 = falla humana no cierra el lv-9003 al oír alarma del FAH-9004	1E-02
B13 = falla del LIC-9002	1E-03
B14 = falla del LT-9002	1E-03
B15 = falla del detector de mezclas explosivas	1E-05
B16 = falla humana trabajos de soldadura o cortes en el área	1E-02
B17 = fuga de gas o hidrocarburos	1E-03
B18 = falla de bomba de condensado GA-953	1E-03
B19 = falla del PT-12503 no registra temperatura	1E-03
B20 = falla del PIC-12503	1E-03
B21 = falla humana abre PV-9004	1E-02
B22 = falla el PT-9004 no registra presión	1E-03
B23 = falla del PIC-9004	1E-03

Cada elemento de la ecuación representa un conjunto mínimo, incluso un elemento básico solo representa un conjunto mínimo.

14

$$T = \sum_{i=1}^{14} B_i + (B_{15} \cdot B_{16} \cdot B_{17}) + [(B_{19} + B_{22} + B_{23}) \cdot (B_{18} + B_{20} + B_{21})]$$

14 conjuntos mínimos

1 conjunto mínimo

1 conjunto mínimo

Basándonos en la siguiente tabla obtenemos la probabilidad de ocurrencia (P) de cada evento básico, en función de la frecuencia probable (F) con que se efectúan los eventos.

Probabilidad (P)	Frecuencia Probable (F)
10 ⁰	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
10 ⁻¹	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
10 ⁻³	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
10 ⁻⁵	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
10 ⁻⁷	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
10 ⁻⁹	No se ve probabilidad de que ocurra



Tabla 31. Probabilidad de Ocurrencia del Conjunto Mínimo

Conjunto Mínimo	Probabilidad De Ocurrencia	Porcentaje Ocurrencia (%)
C1 = B1	1E-03	2.5
C2 = B2	1E-02	25
C3 = B2	1E-03	2.5
C4 = B4	1E-03	2.5
C5 = B5	1E-05	0.025
C6 = B6	1E-02	25
C7 = B7	1E-03	2.5
C8 = B8	1E-03	2.5
C9 = B9	1E-05	0.025
C10 = B10	1E-05	0.025
C11 = B11	1E-05	0.025
C12 = B12	1E-02	25
C13 = B13	1E-03	2.5
C14 = B14	1E-03	2.5

Conjunto Mínimo	Probabilidad Total de Ocurrencia	Porcentaje total de ocurrencia (%)
C15 = B15 • B16 • B17	1E-112	50E-08
C16 = [(B19+B22+B23) • (B18+B20+B21)]	4.E-050	0.09

Probabilidad de ocurrencia del evento culminante:	4E-02
--	--------------

Con la nueva ecuación podemos re-acomodar el Árbol de Fallas por alta presión en la Torre Estabilizadora DA-901 (Simplificado), el cual tiene una probabilidad mas real y confiable, además nos permite visualizar ordenadamente la ocurrencia de los eventos. A continuación se muestra el “*Diagrama del análisis de Árbol de fallas por alta presión de la torre estabilizadora simplificado*” (ver Diagrama # 010, anexo).



Con la nueva ecuación podemos re-acomodar el Árbol de Fallas por alta presión en la Torre Estabilizadora DA-901 (Simplificado), el cual tiene una probabilidad mas real y confiable, además nos permite visualizar ordenadamente la ocurrencia de los eventos. A continuación se muestra el "*Diagrama del análisis de Árbol de fallas por alta presión de la torre estabilizadora simplificado*" (ver Diagrama # 010, anexo).

Recomendación del Análisis del Arbol de Fallas: El evento culminante "Falla por Alta Presión de la Torre Estabilizadora DA-901" resulto tener una probabilidad de 0.04, entre 10^{-1} a 10^{-3} , se encuentra entre las frecuencias de "Muy probable" (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año) y "Probable" (ha ocurrido o puede ocurrir en un año), por lo que se considera un escenario potencialmente peligroso. Para evitar tal evento se requiere verificar el cumplimiento de los procedimientos de operación y mantenimiento de la Torre Estabilizadora, específicamente en las válvulas de seguridad e instrumentos de protección.



4.1.4 Resultados del Análisis de Peligros y Operabilidad

Aquí se presentará las hojas de registro de las sesiones de análisis que tuvieron lugar en la sala de juntas de la planta de isomerización con duración de cuatro horas cada una, dos días por semana. Como ya describimos en el Capítulo II la secuencia del trabajo de esta técnica de análisis, solo resumiremos brevemente lo que se hizo:

- Se definió el objetivo del análisis: analizar los peligros potenciales de las secciones de reacción, estabilización y lavado de la planta isomerizadora de pentanos y hexanos.
- Se seleccionó el equipo multidisciplinario para efectuar el análisis: se formó un equipo entre los ingenieros de seguridad, de operación, de mantenimiento, de instrumentos, y un jefe de operadores de la planta y 4 miembros representantes de la facultad de química.
- Se prepararon las sesiones: durante cada sesión se preparó una lista de los temas a tratar, donde se separaron por circuitos. Estas duraban hasta 4 horas.
- Se dieron los resultados y recomendaciones: toda la información intercambiada y analizada en cada sesión se resumió en las hojas de resultados del HazOp con sus respectivas recomendaciones.

A continuación presentaremos el desarrollo de los resultados obtenidos en las sesiones del análisis de cada circuito seleccionado:

1. Selección de los circuitos para realizar el HazOp

La selección de los circuitos para el estudio, se hizo con la ayuda de los Ingenieros de operación que laboran en la Planta de Isomerización. Los circuitos seleccionados fueron los siguientes:

- Circuito 1: Sección de reacción.
- Circuito 2: Sección de estabilización
- Circuito 3: Sección de lavado cáustico



3. hasta una vez en 5 años
4. hasta una vez en 1 año
5. mas frecuente de 1 vez al año

La **Gravedad** clasifica las consecuencias se califican en términos en 5 categorías:

1. no tiene impacto en la planta, personal o equipo
2. daños solo al equipo o fugas menores
3. las consecuencias no pasan de la planta y hay lesiones en el personal
4. daños considerables mayores que se extienden al limite de la planta
5. daños considerables mayores que se extienden en las áreas aledañas a la planta

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. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones implementadas deberá usar una **matriz de índice de riesgo** que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad ó gravedad de las consecuencias del mismo.

Las **Recomendaciones** se clasificaron en tres tipos de clase: A, B y C.

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 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 a 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 que el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, estas recomendaciones deberán tener un número de riesgo de 1 a 3.



Para clasificar la recomendación, nos basamos en la *matriz de Gravedad vs Frecuencia*, donde se usa una escala de 1 a 5, donde 1 es el nivel inferior y 5 el nivel superior de la gravedad o frecuencia. De acuerdo a la siguiente matriz se asignan las clases: la 1ª diagonal es la clase A, la 2ª diagonal es la clase B y la 3ª diagonal pertenece a la clase C.

GRAVEDAD

		1	2	3	4	5
F R E C U E N C I A	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	7	
	3	3	6	7		
	4	4	7			
	5	5				

Fig. 10 Aceptabilidad máxima: 3

Donde la coordenada: gravedad 1 y frecuencia 1, indica un riesgo insignificante, es decir que no se garantizan la reducción del riesgo; y la coordenada: gravedad 5 y frecuencia 5, indican un riesgo urgente, para tomar acciones correctivas inmediatas o paro de la unidad de proceso.

A continuación observaremos las hojas de resultados de los circuitos seleccionados que se formaron en el estudio del análisis de riesgos y operabilidad de la planta isomerizadora, en las cuales se indican también las recomendaciones por cada escenario analizado.



Sección de Reacción

Compañía: Planta Isomerizadora de Pentanos y Hexanos

Area/proceso: Sección de Reacción

Fecha: 30 / 10 / 2001

Circuito: 1, De los cambiadores de calor: EA-908, EA-909A/B y EA-910, a los Reactores de isomerización: DC-901A/B.

Diagramas: 001 y 002

Producto: Hidrógeno, Pentanos y Hexanos.

Desviación: No flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS: 13, 573 BPD

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
1	Error humano se cierra la válvula MO-8904.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Represionamiento hacia atrás. 2. Envío de hidrocarburos al cabezal de desfogues e incumplimiento de la norma NOM-085-ECOL-94. 3. Alta temperatura en el reactor DC-901A/B. 4. Formación excesiva de ligeros. 5. Aumento de presión en el reactor. 	2 (1)	2 (2)	4 (2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. PSV-9 en salida lado cuerpo del EA-910. 2. Capacitación y adiestramiento al personal operativo. 3. Indicadores temperatura, TI-8908 al 8913, TI-8914 al 8919. 4. Alarma de alta temperatura, TAH-8908 a 8913, TAH-8914 A 8919. 5. Indicadores de presión, PI-8909 y PI-8910. 6. Válvula de seguridad PSV-10A y PSV-10B en los reactores DC-901A/B. 7. PIC-8905/PV-8905 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Cuando esta causa se presente aplicar los procedimientos por falla de carga. 2. Continuar con la capacitación y adiestramiento al personal operativo. 3. Continuar con el programa de calibración de PSV's. 4. Cuando se tenga la necesidad de operar la MO-8904, solicitar la autorización del ingeniero de operación. 	C
2	Falla y cierra la válvula FV-8901.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Represionamiento en la descarga de la bomba GA-901A/B. 2. Alta temperatura en el reactor. 3. Formación excesiva de ligeros. 4. Aumento de presión en el reactor. 	3 (2)	2 (1)	6 (2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Recirculación de la bomba GA-901A/B con la FV-8802. 2. Válvula HV-8903 que actúa con el FSLL-8901A o FSLL-8901B. 3. El FSLL-8901C o el FSLL-8901D manda cerrar la alimentación de vapor de media presión al EA-910. 4. Alarma FAL-8901 de bajo flujo. 5. Indicadores temperatura, TI-8908 al 8913, TI-8914 al 8919. 6. Alarma de alta temperatura, TAH-8908 a 8913, TAH-8914 A 8919. 7. Indicadores de presión, PI-8909 y PI-8910. 8. Válvula de seguridad PSV-10A y PSV-10B en los reactores DC-901A/B. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. A falla de la FV-8901 operar con el directo 	C

3	Falla de las bombas de carga GA-901A/B.	<ol style="list-style-type: none"> Alta temperatura en el reactor. Aumento de la presión en el reactor. Aumenta la hidrostintegración. Formación excesiva de ligeros. Formación excesiva de carbón en la superficie del catalizador. 	4 (2)	2 (2)	7 (4)	<ol style="list-style-type: none"> Alarma por bajo flujo FAL-8901. Procedimiento de recirculación de carga. Indicadores temperatura, TI-8908 al 8913, TI-8914 al 8919. Bomba de relevo. Alarma de alta temperatura, TAH-8908 a 8913, TAH-8914 A 8919. Indicadores de presión, PI-8909 y PI-8910. Válvulas de seguridad PSV-10A y PSV-10B en los reactores DC-901A/B. 	<ol style="list-style-type: none"> Aplicar el procedimiento para falla de carga. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. Continuar con el programa de calibración y prueba de válvulas de seguridad. 	B
---	---	---	----------	----------	----------	---	--	---

Desviación: Menos flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS: 13 573 BPD

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
4	Se alinea el flujo hacia la torre estabilizadora.	<ol style="list-style-type: none"> Bajo rendimiento de productos. Productos fuera de especificación. Alto nivel en la torre estabilizadora. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> Capacitación y adiestramiento al personal operativo. Controles de nivel de la torre DA-901. 	<ol style="list-style-type: none"> Continuar con la capacitación y el adiestramiento al personal operativo. 	B
5	Falla la alimentación de hidrógeno por cierre de la válvula FV-8906.	<ol style="list-style-type: none"> Depósito de carbón sobre la superficie del catalizador. No hay reacción. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> Directo de la válvula, FV-8906. Programa de mantenimiento preventivo a la válvula FV-8906. Línea de hidrógeno 3"-P-8920. 	<ol style="list-style-type: none"> Cuando falle la FV-8906 operar con el directo y apoyarse para la alimentación de hidrógeno en la línea 3"-P-8920. 	B
6	No hay alimentación de percloroetileno.	<ol style="list-style-type: none"> Se desactiva el catalizador. Se reduce la producción de isómero. 	4 (2)	2 (2)	7 (4)	<ol style="list-style-type: none"> Bomba de relevo para la inyección de percloroetileno. Tambores extra de percloroetileno en almacenamiento. 	<ol style="list-style-type: none"> No operar la unidad por más de seis horas sin la inyección continua de percloroetileno. 	B

Desviación: Alta temperatura

LOI: 105 °C

LOS:

LSI:

LSS: 150 °C

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
7	Alimentación excesiva de vapor a través de la válvula FV-8903	<ol style="list-style-type: none"> Formación excesiva de ligeros. Aumenta la hidrostintegración. Incremento en la velocidad de cubrimiento de carbón sobre el catalizador. 	2 (2)	1 (1)	2 (2)	<ol style="list-style-type: none"> Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. Directo de la válvula FV-8903. Indicación de temperatura en el SCD TI-8932. 	<ol style="list-style-type: none"> Continuar con el programa de mantenimiento preventivo de instrumentos. Operar con el directo de la válvula FV-8903, cuando esta falle. 	C

Desviación: Baja temperatura. LOI: 105 °C LOS: LSI: LSS: 150 °C

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
8	No hay alimentación de vapor con la FV-8903.	1. Bajo rendimiento en las reacciones de isomerización. 2. Producto fuera de especificación. 3. Incumplimiento al control de calidad de productos terminados.	3 (2)	1 (1)	3 (2)	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Directo de la válvula FV-8903. 3. TI-8906 y el TI-8932.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Operar con el directo de la válvula FV-8903.	C
9	Catalizador agotado.	1. No hay reacción. 2. Baja calidad en el producto.	2 (2)	1 (1)	2 (2)	1. Registro de temperatura, TR-8913 y TR-8919. 2. Indicadores de temperatura TI-8913 y TI-8919. 2. Análisis de laboratorio.	1. En paro y arranque aplicar los procedimientos adecuados para el cuidado del catalizador. 2. Mantener los programas de regeneración de los secadores. 3. Durante la toma de muestra evitar purgar producto al drenaje.	C
10	Catalizador desactivado por presencia de agua en la carga.	1. No hay reacción 2. Producto fuera de especificaciones. 3. Incumplimiento al programa de control de calidad. 4. Considerables pérdidas económicas por daños al catalizador.	2 (1)	2 (2)	4 (2)	1. Secadores de carga, FA-904A/B. 2. Analizadores continuos de humedad, AL-8801 Y AT-8902. 3. Análisis del laboratorio.	1. Mantener operando los secadores adecuadamente. 2. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de analizadores de humedad. 3. Durante la toma de evitar purgar al drenaje, para minimizar el aporte de HCs al drenaje aceitoso.	C

Desviación: Alta presión. LOI: 30.9 kg/cm² LOS: LSI: LSS: 36.10 kg/cm²

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
11	Falla del controlador de presión PIC-8905	1. Fugas e incendio. 2. Envío de hidrocarburos al desfogue. 3. Incumplimiento de la la norma NOM-085-ECL0-94, por emisiones a la atmósfera.	3 (2)	4 (2)	8 (4)	1. Detector de mezcla explosiva. 2. Sistema de agua contraincendio. 3. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 4. PSV-9 y PSV's-10A/B.	1. Cumplir con el programa de mantenimiento a los detectores de hidrocarburos. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos y contar con el refaccionamiento adecuado. 3. Asegurar la libertad de flujo del sistema de agua contraincendio. 4. Continuar con el programa de mantenimiento a extintores.	B

12	Válvula PV-8905 no responde al PIC-8905 y no abre.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Fuga e incendio 2. Incumplimiento a la norma NOM-085-ECOL-94, por emisiones a la atmósfera. 3. Alta temperatura en el reactor DC-901A/B. 4. Formación excesiva de ligeros. 5. Aumento de presión en todo el circuito de reacción. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Directo da la válvula PV-8905. 2. Programa de mantenimiento a instrumentos. 3. Indicadores temperatura, TI-8908 al 8913, TI-8914 al 8919. 4. Alarma de alta temperatura, TAH-8908 a 8913, TAH-8914 A 8919. 5. Indicadores de presión, PI-8909 y PI-8910. 6. Válvula de seguridad PSV-10A y PSV-10B en los reactores DC-901A/B. 7. Detector de mezcla explosiva. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 3. A falla de la PV-8905 operar con el directo de la misma. 	B
13	Alta temperatura en los reactores DC-901A/B.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formación excesiva de ligeros. 2. Bajo rendimiento de productos. 3. Degradación de productos valiosos a gas combustible. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. PSV s-10A/B. 2. Alarmas por alta temperatura TAH-8908 a 89019. 3. PV-8905, que controla la presión en la sección de reacción. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 	B
14	Error humano se cierra la válvula MO-8904.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ídem a la causa 1 de no flujo. 	2 (1)	2 (2)	4 (2)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ídem a la causa 1 de no flujo. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ídem a la causa 1 de no flujo. 	C

Desviación: Baja presión.

LOI: 30.9 Kg/Cm²

LOS:

LSI:

LSS: 36.10 kg/cm²

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
15	Por falla del transmisor PIC-8905 abre totalmente la PV-8905.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de presión en el circuito de reacción. 2. El metil-ciclohexano y el ciclohexano se absorben en el catalizador provocando la reducción en las reacciones de isomerización. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento preventivo a PIC/PV-8905. 2. Directo de la PV-8905. 3. Alarma de baja presión en el SCD, PAL-8905. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mantener la operación de la planta dentro de los límites establecidos por diseño. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 	B
16	PSV-9 o PSV s-10A/B se quedan calzadas.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de presión en el circuito de reacción. 2. El metil-ciclohexano y el ciclohexano se absorben en el catalizador provocando la reducción en las reacciones de isomerización. 3. Contaminación ambiental. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> Programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 	B

Desviación: Contaminantes en la carga.

LOI: 30.9 kg/cm²

LOS:

LSI:

LSS: 36.10 kg/cm²

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
17	Azúfre.	1. Reducción temporal en la actividad del catalizador.	2 (1)	2 (2)	4 (2)	1. Guarda de azúfre, con programa automática de regeneración cada 24 horas. 2. Analizadores en línea.	1. Mantener en condiciones óptimas las guardas de azúfre. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a analizadores en línea.	C
18	Nitrógeno y/o compuestos de Nitrógeno.	1. Formación de sales, que pueden desactivar el catalizador. 2. Bajo rendimiento de isómero. 3. Pérdidas económicas.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Control de instalación y retiro de juntas ciegas en las líneas de Nitrógeno. 2. Pruebas hidrostáticas.	1. Asegurar que las líneas de inyección de nitrógeno a los DC-901A/B, estén perfectamente bloqueadas y con junta ciega durante la operación.	B
19	Agua y/o Oxígeno.	1. Daño total al catalizador. 2. Pérdidas económicas considerables. 3. Paro de planta.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Secadores de carga líquida. 2. Analizador de humedad en línea, AT-8902. 3. Pruebas de laboratorio. 4. Pruebas hidrostáticas en el EA-910, que utiliza vapor como medio de calent.	1. Continuar con el programa de regeneración de secadores cada 24 horas. 2. Continuar con el Programa de mano o prev. al cambiador EA-910, para evitar pasar cond. a la carga.	B

Sección de Estabilización



Compañía: Planta de Isomerización

Area/proceso: Sección de Estabilización

Fecha: 23 / 11 / 2001.

Circuito: 2, Torre Estabilizadora DA-901.

Diagramas: 004

Producto: Isómero, hidrógeno, gas combustible y ácido clorhídrico

Desviación: Alta Temperatura

LOI: 97°C

LOS:

LSI:

LSS: 161°C

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
20	Falla en posición de cerrado la TV-12503.	1. No hay aliment. de condensado de atemperación. 2. El vapor de media presión se alimenta a 320 °C 3. Alta presión en la torre DA-901. 4. Inestabilidad en op. de la torre. 5. Fugas por conexiones y acces.	3 (2)	3 (2)	7 (4)	1. Programa de mantenimiento preventivo a la TV-12503. 2. Directo de la válvula TV-12503. 3. Válvula de seguridad PSV-14 4. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. 5. PI-3003 y la PI-9002 en SCD.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad. 3. Mantener los límites de operación para que el HCl presente no ataque las paredes de la torre, DA-901.	B

21	Que el TT-12503 no cense la temperatura.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay alimentación de condensado de atemperación. 2. El vapor de media presión se alimenta a 320 °C 3. Alta presión en la torre DA-901. 4. Inestabilidad en la operación de la torre. 5. Fugas por conexiones y accesorios. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento preventivo al TT-12503. 2. Válvula de seguridad PSV-14 3. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. 4. PI-3003 y el PI-9002 en el SCD. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad. 	B
22	Falla el PIC-12503 y manda cerrar la TV-12503.	<ol style="list-style-type: none"> 1. No hay alimentación de condensado de atemperación. 2. El vapor de media presión se alimenta a 320 °C 3. Alta presión en la torre DA-901. 4. Inestabilidad en la operación de la torre. 5. Fugas por conexiones y accesorios. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento preventivo al PIC-12503 y TV-12503 2. Directo de la válvula TV-12503. 3. Válvula de seguridad PSV-14 4. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. 5. PI-3003 y el PI-9002 en el SCD. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad. 	B
23	Falla el transmisor PT-9004 no sensa presión y la PV-9004, alimenta mucho vapor.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alta presión en la torre DA-901. 2. El vapor de media presión se alimenta a 320 °C. 3. Pérdida del isómero por el domo. 4. Inestabilidad en la operación de la torre. 5. Fugas por conexiones y accesorios. 	2 (2)	2 (2)	4 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento preventivo al PT-9004 y a la PV-9004. 2. Válvula de seguridad PSV-14. 3. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. 4. PI-3003 y el PI-9002 en el SCD. 5. Inyección de condensado de atemperación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad. 3. Cuando falle el PT-9004, operar con el directo de la válvula PV-9004. 	B

Desviación: Baja Temperatura

LOI: 97°C

LOS:

LSI:

LSS: 161°C

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
24	Recibo de carga muy fria (Por debajo de 97 °C).	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inestabilidad en la operación de la torre. 2. Alto nivel. 3. Baja presión en la torre. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. PIC/PV-9004 que alimenta vapor de calentamiento. 2. Alarma por alto nivel LAH-9001. 3. LIC-9001 y la LV-9001. 4. PI-9002 y PI-9003 en el SCD. 5. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 	B
25	Falla en cerrado la PV-9004.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Baja presión en la torre. 2. Alto nivel. 3. Inestabilidad 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Programa de mantenimiento preventivo a la PV-9004. 2. Alarma de alto nivel, LAH-901. 3. PI-9002 y PI-9003 en el SCD. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 	B

26	Alta relación de reflujo.	1. Alto nivel. 2. Inestabilidad en la operación de la torre.	3 (2)	2 (1)	6 (2)	1. Relación de reflujo establecida. 2. Programa de capacitación y adiestramiento al personal de campo y del SCD.	1. Continuar con la capacitación y adiestramiento.	C
----	---------------------------	---	----------	----------	----------	---	--	---

Desviación: Alta Presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
27	Alimentación excesiva de vapor de calentamiento.	1. Alta temperatura. 2. Inestabilidad en la operación de la torre. 3. Fugas e incendio.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Válvula de seguridad, PSV-14. 2. PI-9002 y PI-9003 en el SCD. 3. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. 3. Sistema contraincendio.	1. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 2. Continuar con el programa de manto. preventivo a instrumentos. 3. Continuar con el programa de revisión de las acc. del interlock de protec. de la secc. de estabilización.	B
28	Alto nivel.	1. Inestabilidad en la operación de la torre. 2. Baja temperatura.	3 (2)	2 (1)	6 (2)	1. LIC-9001 con alarma por alto nivel, LAH-9001. 2. TI-9004, TI-9005 y TI-9006 en el SCD. Con alarmas por baja temperatura.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de revisión de las acciones del interlock de manto. de la secc. de estabilización.	C
29	Taponamiento en el EC-903 con cascarrilla de la línea.	1. Alto nivel. 2. Inestabilidad en la operación de la torre. 3. Fugas e incendio. 4. Contaminación ambiental 5. Paro de planta.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. LIC-9001 con alarma por alto nivel, LAH-9001. 2. Válvula de seguridad, PSV-14. 3. PI-9002 y PI-9003 en el SCD con alarma por alta presión. 4. Sistema contraincendio. 5. Procedimiento para paro de emergencia.	1. Continuar con el programa de manto. preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de revisión de las acciones del interlock de protec. de la secc. de estabilización. 3. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 4. Asegurar la libertad de flujo, en la red de agua contraincendio.	B

Desviación: Baja Presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
30	PSV-14 mal calibrada o dañada, abre a la presión de operación.	1. Pérdida de producto, hacia el desfogue. 2. Contaminación ambiental. 3. Paro de planta.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. PI-9002 y PI-9003 en el SCD. 2. Programa de calibración y prueba a válvula, PSV-14.	1. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvulas de seguridad. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	B

31	Baja temperatura.	1. Descontrol en los perfiles de la torre. 2. Alto nivel.	3 (2)	2 (1)	6 (2)	1. PI-9002 y PI-9003 en el SCD, con alarmas por vía presión. 2. FIC/FV-9004. 3. TI-9003, TI-9004 y el TI-9005 en el SCD.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	C
----	-------------------	--	----------	----------	----------	--	--	---

Desviación: Alta Nivel

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
32	Falla el LIC-9001.	1. Alta presión. 2. Inestabilidad en la operación de la torre. 3. Fugas por conexiones y accesorios.	3 (2)	3 (2)	7 (4)	1. Alarma de alto nivel. 2. LG-9001. 3. PI-002, PI-003 y PI-004 en el SCD. 4. Programa de mantenimiento preventivo al LIC-9001. 5. Válvula de seguridad, PSV-14.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad.	B
33	El transmisor LT-9001, falla y no sensa nivel.	1. Alta presión. 2. Inestabilidad en la operación de la torre. 3. Fugas por conexiones y accesorios.	3 (2)	3 (2)	7 (4)	1. Alarma de alto nivel. 2. LG-9001. 3. PI-002, PI-003 y PI-004 en el SCD. 4. Programa de mantenimiento preventivo al LT-9001. 5. Válvula de seguridad, PSV-14.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad.	B
34	La válvula LV-9001, falla en cerrado.	1. Alta presión. 2. Inestabilidad en la operación de la torre. 3. Fugas por conexiones y accesorios. 4. Contaminación ambiental. 5. Explosión e incendio. 6. Paro de planta.	3 (2)	3 (2)	7 (4)	1. Alarma de alto nivel. 2. LG-9001. 3. PI-002, PI-003 y PI-004 en el SCD. 4. Directo de la válvula LV-9001. 5. PSV-14.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de calibración y prueba a válvula de seguridad.	B
35	Taponamiento en el EC-903, con cascarilla de la línea.	1. Alta presión. 2. Inestabilidad en la operación de la torre. 3. Fugas por conexiones y accesorios. 4. Contaminación ambiental. 5. Explosión e incendio. 6. Paro de planta.	3 (1)	3 (1)	7 (1)	1. LIC-9001 con alarma por alto nivel, LAH-9001. 2. Válvula de seguridad, PSV-14. 3. PI-9002 y PI-9003 en el SCD con alarma por alta presión. 4. Sistema contraincendio. 5. Procedimiento para paro de emergencia.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de revisión y calibración de válvulas de seguridad. 3. Asegurar la libertad de flujo del sistema de agua contraincendio.	C

Desviación: Bajo Nivel

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
36	Falla el controlador de nivel, LIC-9001 y/o el LT-9001.	1. Baja la temperatura. 2. Inestabilidad en la operación de la torre.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Programa de mantenimiento a instrumentos. 2. Alarma por bajo nivel, LAH-9001. 3. TI-9003, TI-9004 y TI-9005 en el SCD con alarma por baja temperatura.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	B

Sección de Lavado Cáustico



Compañía: Planta Isomerizadora

Area/proceso: Sección Lavado Cáustico

Fecha: 23 / 11 / 2001

Circuito: 3. Torre Lavadora Cáustica DA-902

Diagramas: 005

Producto: Gas Combustible e Hidrógeno

Desviación: Alta temperatura.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS: 38 °C

Esc.	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
37	Gases del FA-910, muy calientes.	1. Corrosión de la línea 3-P-903G, de alimentación a la torre. 2. Formación de puntos de fuga. 3. Incendio.	2 (1)	3 (2)	6 (2)	1. Aerofriador, EC-903. 2. Enfriador con agua, EA-913.	1. Continuar con el programa de mantenimiento institucional. 2. Mantener la temperatura entre 35 y 38 °C para evitar ataques de los internos de la torre DA-902. 3. Continuar con el programa de inspección y calibración de líneas.	C
38	Alimentación excesiva de vapor de calentamiento en el EA-914.	1. Evaporación de la solución de sosa cáustica. 2. Arrastre de sosa en la línea de salida del gas combustible. 3. Corrosión y formación de puntos de fuga en la línea, 3° P 911.	3 (1)	2 (1)	6 (1)	1. TI-9102 en el SCD. 2. Alarma por alta temperatura, TAH-9102.	1. Evaluar la posibilidad de instalar una válvula automática para la alimentación de vapor al EA-914 y otra para el desalojo de condensado, con control de temperatura.	B

39	Calentamiento externo.	1. Alta presión. 2. Fugas, explosión e incendio.	1 (1)	5 (2)	5 (2)	1. Válvula de seguridad, PSV-15. 2. Sistema contraincendio. 3. PV-9108, que controla la presión de la torre a 8.5 Kg/Cm2.	1. Continuar con el programa de revisión y calibración de válvulas de seguridad. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 3. Asegurarse de los niveles de explosividad cuando se tenga la necesidad de realizar trabajos de corte o soldadura. 4. Continuar con el programa cero Fugas.	C
----	------------------------	---	----------	----------	----------	---	--	---

Desviación: Alta presión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
40	Calentamiento externo.	1. Alta presión. 2. Fugas, explosión e incendio.	1 (1)	5 (2)	5 (2)	1. Válvula de seguridad, PSV-15. 2. Sistema contraincendio. 3. PV-9108, que controla la presión de la torre a 8.5 Kg/Cm2.	1. Continuar con el programa de revisión y calibración de válvulas de seguridad. 2. Continuar con el programa de manto preventivo a instrumentos. 3. Asegurarse de los niveles de explosividad cuando se tenga la necesidad de trabajos de corte o soldadura. 4. Continuar con el programa cero Fugas.	C
41	Falla en cerrado la PV-9105.	1. Fugas por conexiones y accesorios. 2. Explosión e incendio.	3 (2)	3 (2)	7 (4)	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Válvula de seguridad, PSV-15. 3. Sistema contraincendio. 4. Directo de la válvula.	1. Operar por el directo de la válvula, PV-9105. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 3. Continuar con el programa de revisión y calibración de válvulas de seguridad.	B

Desviación: Baja presión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
42	Falla del controlador de presión, PIC9105 y la válvula PV-9105 abre al 100%.	Inestabilidad en la operación de la torre.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Programa de mantenimiento preventivo al PIC-9105 y PV-9105. 2. PI-9104. 3. Directo de la válvula, PV-9105.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos.	B
43	Falla en transmisor de presión, PT-9105.	Inestabilidad en la operación de la torre.	3 (2)	2 (2)	6 (4)	1. Programa de mantenimiento preventivo al PT-9105. 2. PI-9104.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	B

Desviación: Menos concentración de sosa. LOI: 2 % peso. LOS: 10 % peso LSI: LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
44	Concentración de sosa a menos del 2% en peso.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lavado inadecuado del gas combustible. 2. Arrastre de ácido clorhídrico a la red de gas combustible. 3. Corrosión de los internos de la torre DA-902. 4. Corrosión de la línea de salida del gas combustible y los internos de la válvula. PV-9105. 5. Formación de puntos de fuga. 	4 (3)	2 (2)	7 (6)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Muestreo continuo de la sosa en circulación. 2. Analizador en línea, AT-9101, de gas combustible. 3. Tanque FB-900 de sosa fresca, con bombas GA-921A/B.. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Asegurar el muestreo de la sosa en circulación y mantener comunicación con el laboratorio. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a analizadores en línea. 3. Analizar la posibilidad de instalar un disco de ruptura para proteger la válvula. de seguridad, PSV-15, para que funcione adecuadamente cuando sea necesario y no se quede pegada por corrosión. 4. Cuando se tome la muestra de sosa en circulación evitar purgar al piso. 5. Determinar los niveles de corrosión de acuerdo a la concentración de HCl. 6. Cuando la concentración de la sosa cáustica llegue al 2%, cambiarla con sosa fresca, 10 % peso. 	B

Desviación: Alto nivel. LOI: LOS: LSI: LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
45	Falla la bomba GA-906.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de espuma en el interior de la torre, dificultando el lavado del gas. 2. Alta presión. 3. Alto nivel en el FA-911. 4. Arrastre de NaOH al cabezal de destiúes, provocando corrosión y puntos de fuga en el mismo. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. LI-9107, con alarma por alto nivel LAH-9107, en el SCD. 2. LG-9103, LG-9104, LG-9105 y LG-9106. 3. LV-9102. 4. Válvula de seguridad, PSV-15. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Mantener el nivel de la solución cáustica dentro de la torre DA-902, en un punto entre 30 y 60 cm por abajo del distribuidor instalado en la parte inferior de la sección empacada. 	B
46	Falla la FV-9102 en posición de cerrado.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Formación de espuma en el interior de la torre, dificultando el lavado del gas. 2. Represionamiento de la torre. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. LI-9107, con alarma por alto nivel LAH-9107, en el SCD. 2. LG-9103, LG-9104, LG-9105 y LG-9106. 3. Válvula de seguridad, PSV-15. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Mantener el nivel de la solución cáustica dentro de la torre DA-902, en un punto entre 30 y 60 cm por abajo del distribuidor instalado en la parte inferior de la sección empacada. 	B

47	Falla en transmisor de nivel, LT-9107.	<ol style="list-style-type: none"> Formación de espuma en el interior de la torre, dificultando el lavado del gas. Represionamiento de la torre. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> LI-9107, con alarma por alto nivel LAH-9107, en el SCD. LG-9103, LG-9104, LG-9105 y LG-9106. Válvula de seguridad, PSV-15. 	<ol style="list-style-type: none"> Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. Continuar con el programa de revisión y calibración a válvulas de seguridad. Mantener la operación de la torre DA-902, dentro los límites establecidos, para evitar el desfogeo de gas ácido, ya que en la línea entre la torre y el cabezal de desfuegos se formaran puntos de fuga por corrosión interna. 	B
----	--	--	----------	----------	----------	--	---	---

Desviación: Bajo nivel.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Esc	Causa	Consecuencias	F	G	R	Protección	Recomendación	Clase
48	Falla en transmisor de nivel, LT-9107.	<ol style="list-style-type: none"> Corrosión en el fondo de la torre. Daño a la bomba GA-905. 	3 (2)	2 (2)	6 (4)	<ol style="list-style-type: none"> LG-9103, LG-9104, LG-9105 y LG-9106. Programa de mantenimiento preventivo al LT-9107. 	<ol style="list-style-type: none"> Continuar con el programa de mantenimiento preventivo instrumentos. Mantener la comunicación por radio con el tablerista y el operador de campo. 	B
49	Falla la bomba de recirculación de sosa, GA-905A.	<ol style="list-style-type: none"> Se frena la recirculación de sosa cáustica. Lavado ineficiente del gas. Corrosión en el domo de la torre y línea de salida de gas combustible. Formación de puntos de fuga en la línea de salida del gas combustible. 	4 (2)	2 (2)	7 (4)	<ol style="list-style-type: none"> Bomba de relevo, GA-905B. LG-9103, LG-9104, LG-9105 y LG-9106. Analizador en línea, AT-9101. Análisis de laboratorio. 	<ol style="list-style-type: none"> Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a bombas. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a analizadores en línea. 	B



4.3 CONSIDERACIONES DE SEGURIDAD

El objetivo de este capítulo es señalar los aspectos notables de seguridad en la planta de isomerización de pentanos y hexanos. Proporcionando información general sobre el proceso de la planta, las sustancias involucradas (ya que son inflamables), así como la seguridad en preparaciones y seguridad en la operación.

Para brindar seguridad a la planta se debe contar con el conocimiento de las actividades que se llevan a cabo en esta; con la finalidad de operarla de manera segura. El operador tiene el dominio de su trabajo si conoce perfectamente el flujo de proceso de la unidad, las líneas que se conectan a los equipos, los arreglos de tubería, los principios de operación de la unidad, sabe operar los equipos, el uso de la instrumentación y el sistema de control distribuido (computadoras) para controlar las variables del proceso, conoce las propiedades de los materiales que se procesan y conoce y lleva a cabo los procedimientos de arranque y paro ordenadamente.

Es de suponerse que no es posible hacerle frente a situaciones de riesgo si no se cuenta con experiencia. Es responsabilidad de los operadores estar conscientes y preparados para enfrentar problemas que se lleguen a presentar en la unidad. (Ref. 9)

a) Mantenimiento

Todo trabajo de mantenimiento, deberá contar con aprobación de personal autorizado antes de llevarse a cabo. Todos los recipientes y equipos han sido diseñados para manejar líquidos a presiones y temperaturas que se desarrollan durante la operación normal de la unidad. Las válvulas de seguridad y depresionamiento deberán ser capaces de relevar presiones excesivas. Las líneas o equipos que contienen líquidos volátiles no deberán bloquearse intencionalmente, ya que provocaría sobrepresionamiento por la expansión térmica. Antes de abrir líneas o recipientes, se deben definir los procedimientos adecuados de entrega y recepción de éstos. Después que el mantenimiento se ha efectuado y antes que el equipo sea puesto en servicio, deberá purgarse el aire del sistema.

La prevención de incendios es posible mediante el monitoreo continuo y el mantenimiento del equipo en donde se manejan, procesan o almacenan productos flamables de manera que se eviten posibles fugas hacia la atmósfera. Las fuentes posibles de ignición deben ser permanentemente vigiladas mediante sistemas automáticos de detección.



b) Sustancias

Se considera que la planta y su operación son totalmente seguras, sin embargo, como se manejan sustancias tales como hidrocarburos, hidrógeno, gas combustible, percloroetileno, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, etc. deben tomarse las debidas precauciones para su manejo y operación. Por lo tanto, es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

Gas combustible y gasolinas: son compuestos ligeramente peligrosos para la salud. Se recomienda en casos de fuga el uso de equipos de respiración con tanques de aire u oxígeno. muy inflamable el cual en forma de niebla forma mezclas explosivas cuando se dispersa en el aire. En el caso de incendio se debe cortar el flujo, manteniendo corrientes de agua de enfriamiento sobre los tanques o contenedores expuestos.

Gasolinas: son compuestos que pueden ser quemados bajo casi todas las condiciones normales de temperatura. Los hidrocarburos son muy peligrosos cuando son expuestos al calor, flama u oxidantes, por lo que es necesario durante la etapa de preparación de la unidad. Eliminar el oxígeno, utilizando nitrógeno u otro gas inerte. Las gasolinas reaccionan vigorosamente con materiales oxidantes. Los hidrocarburos presentan un alto riesgo de explosión cuando son expuestos al calor o flama. En caso de incendio, se deberá cortar el flujo, utilizando agua para mantener fríos los tanques y contenedores expuestos al fuego y para proteger al personal que efectúe el corte. Si las fugas o derrames no se han incendiado, usar cortinas de agua para dispersar el gas o vapor y para proteger al personal que intente bloquear la fuga. Algunas inhalaciones breves de altas concentraciones pueden causar un edema pulmonar fatal. Sus vapores actúan como asfixiantes.

Sosa cáustica (hidróxido de sodio): La sosa cáustica en forma sólida o líquida, tiene una marcada acción corrosiva al contacto con todos los tejidos del cuerpo, resultando severas quemaduras. Pueden resultar pequeñas quemaduras por la exposición a la sosa, en forma de polvo o neblina. Cuando se ingiere, sólida o líquida, daña las membranas mucosas provocando perforación de los tejidos o una formación severa de cicatrices. Se puede producir la muerte si la penetración llega a áreas vitales del organismo. Así mismo, por contacto o inhalación en forma de polvo, se pueden dañar los ojos o el sistema respiratorio. La sosa cáustica, anhidra o en solución, no arde ni sostiene la combustión, sin embargo, cuando se funde puede causar carbonización y subsecuente ignición de recipientes con combustibles. Esto es cierto cuando se almacenan grandes cantidades de sosa fundida, ya que en estos casos el enfriamiento es lento.



Ácido clorhídrico: Es bastante soluble en agua y a 0°C puede formar soluciones hasta de 45.2% en peso. En fase gaseosa no es corrosivo cuando está seco, pero rápidamente absorbe humedad y se vuelve altamente corrosivo al igual que sus soluciones acuosas. Ataca la mayoría de los metales liberando hidrógeno como producto de la reacción y este elemento es altamente explosivo cuando se mezcla con el aire, en proporciones de 4 a 75% en volumen. Como gas o en solución, es un irritante muy energético para la piel que puede causar severas y dolorosas quemaduras. La menor concentración de ácido clorhídrico que puede percibirse mediante el olfato es de 5 ppm; a partir de 35 ppm causa molestias en la garganta y empieza a ocasionar molestias respiratorias.

Percloroetileno: o también conocido como tetracloroetileno $\text{Cl}_2\text{C}=\text{C}\text{Cl}_2$ (PM =165.85) es líquido a temperaturas ordinarias de manejo. $T_e = 121.2^\circ\text{C}$ y su $P_v = 14$ mm Hg. No es reactivo. Resiste la hidrólisis bajo circunstancias ordinarias. Es tóxico por inhalación prolongada o repetido contacto con la piel o membranas mucosas o por ingestión. El efecto más importante de la inhalación del vapor es la narcosis o anestesia. También produce irritación de los ojos, la nariz y la piel. Aún cuando el percloroetileno no es combustible ni carburante, si se expone a altas temperaturas, puede descomponerse en sustancias tóxicas y corrosivas. Por ello los tambores no deben almacenarse junto a sustancias inflamables ni fuentes de calor, y es necesario observar las precauciones ordinarias respecto a incendios.

Esta información de ningún modo tiene la finalidad de remplazar las prácticas de seguridad de Refinería u otras. Deben aplicarse las regulaciones generales de seguridad de la planta, junto con las consideraciones sobre: fumar, uso del equipo de seguridad, aire comprimido, uso de herramientas y equipo adecuado, electricidad, vehículos, etc. Debido a que esta unidad opera con líquidos volátiles y flamables, deberán tomarse precauciones de seguridad adicionales. Todo el personal relacionado con la operación y mantenimiento de la unidad, deberá tener un claro entendimiento de los riesgos involucrados y los resultados posibles por descuido en la operación del proceso o el uso de herramientas no apropiadas en la planta.



Capítulo V CONCLUSIONES

La planta isomerizadora de pentanos y hexanos tiene gran relevancia en la industria de la refinación del petróleo; pues en esta se producen los componentes de las gasolinas reformuladas, como el 2,3-dimetil butano e isopentano. Las cuales además de tener un elevado índice de octano, permiten que las gasolinas ya no contengan agentes contaminantes y tóxicos, además de que le dan mayor rendimiento a los motores de aviones y automóviles. Por ello el sistema nacional de refinación (SNR), consideró necesario construir este tipo de plantas para mejorar la calidad de los componentes de los combustibles, y así cumplir con las especificaciones de los productos que emiten bajas concentraciones de contaminantes a la atmósfera, que emiten las normas nacionales e internacionales.

Además de cumplir con las normas que regulan la calidad de los combustibles generados para el servicio automotriz, doméstico e industrial; se deben cumplir las normas que establecen las medidas de prevención de accidentes, con el propósito de promover la prevención de accidentes y reducción de riesgos. Por lo que apeguándose a estas normas, el SNR hace obligatorio el análisis de riesgos sus plantas, entre ellas la Planta Isomerizadora de Pentanos y Hexanos.

El peligro es una situación que tiene la capacidad de provocar un daño como: lesiones al personal operativo, daños a propiedades, daños al medio ambiente, etc. Y el riesgo es la probabilidad de que ocurran dichos daños al materializarse un peligro. Existen análisis para identificar los peligros y cuantificar los riesgos, ya sea valorando la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias que se deriven de estos. El análisis nos da la magnitud del riesgo, lo cual permite tomar las medidas preventivas más adecuadas. Dentro de los resultados del análisis se deben identificar los daños que podrían perjudicar la salud de los trabajadores de la planta y la población vecina a la misma; y se deben exponer las actividades de reducción y control de riesgos.

Como ya pudimos observar, en los resultados obtenidos del análisis de riesgos para la planta isomerizadora (Capítulo IV) se encontraron diversos peligros y riesgos a los que pueden estar expuestas las secciones de reacción, estabilización y lavado cáustico de la planta. En general, con cualquier técnica de análisis para poder identificar los objetos que están en riesgo en la Planta Isomerizadora, nos preguntamos: ¿si existe una fuente que origine un daño? ¿quién o qué puede ser dañado? y ¿cómo puede ocurrir el daño?



¿Qué se hizo para poder realizar el análisis de riesgos? Seleccionamos de entre las diversas técnicas de análisis que se describieron anteriormente (Capítulo II), las técnicas siguientes: Análisis de consecuencias, Análisis de árbol de fallas y el Análisis de peligros y operabilidad. Estas se seleccionaron después de comparar todas las técnicas de acuerdo a lo siguiente:

A. La posibilidad de efectuar el análisis en las diversas etapas de la ingeniería de la planta, tales como: perfil de la planta, ingeniería de concepto, ingeniería básica, ingeniería de detalle, montaje o construcción, puesta en marcha o arranque y operación. Por ejemplo, en la ingeniería de detalle, se pueden realizar prácticamente todos los análisis excepto: el código de seguridad, el análisis preliminar de peligros y el análisis histórico de accidentes; o para la etapa de perfil de la planta los más indicados son: la lista de verificación, el análisis ¿qué pasaría si? y el análisis preliminar de peligros. Sin embargo, para este estudio lo que se requería eran técnicas que se pudieran utilizar en la etapa de operación de la planta. De los cuales, todas las técnicas pueden ser útiles.

B. Se requiere un estudio que se efectúe de acuerdo a un sistema esquematizado, para encontrar los riesgos potenciales y las posibles soluciones para eliminar o disminuir los problemas (generalizado). Además, de desarrollar un estudio lógico, se necesitan resultados físicamente perceptibles (cuantitativos), es decir, que den una probabilidad o frecuencia de ocurrencia del riesgo o de alguna manera que indiquen el área susceptible de tener un accidente. Por ello, se encontraron apropiadas las técnicas: de análisis de árbol de evento, el índice Dow y Mond, el análisis de consecuencias, el análisis de árbol de fallas y el análisis de peligros y operabilidad.

C. La disponibilidad de herramientas necesarias para efectuar el análisis, es muy variada. Esto hace que el criterio de selección sea más amplio. Según el tiempo y las circunstancias con que se cuenten, podemos conseguirlas. En realidad todas las técnicas necesitan contar con la información más completa y detallada del proceso a analizar, como: condiciones de operación, materiales, equipo, protecciones, mantenimiento, etc. Así como también de la colaboración del personal de la planta, para aportar información y experiencia necesaria. El análisis de árbol de fallas y el análisis de consecuencias de incendios y explosiones, solo requiere de una persona para desarrollar el estudio, apoyándose en la información de otras personas. El análisis de peligros y operabilidad, necesita de más personas (especialistas y con experiencia) que se involucren directamente para realizar el estudio.

D. De acuerdo al objeto más específico que busca cada técnica de análisis, la selección es tan simple o compleja como se quiera realizar. Unos solo se basan en identificar que el proceso u operación de la planta cumpla con los estándares establecidos para que no de lugar al riesgo, entre ellas se encuentran:



códigos y revisiones de seguridad o las listas de verificación. Otros se enfocan a las causas que originan los riesgos potenciales para prevenirlos, como el análisis de: árbol de eventos, árbol de fallas, peligros y operabilidad. Por el contrario, otros se orientan a las consecuencias y no a las causas como: el análisis de consecuencias de incendios y explosiones, el análisis ¿qué pasaría si?, los índices Dow y Mond, y también el análisis de peligros y operabilidad. Se escogió el análisis de árbol de fallas para analizar las causas de un riesgo, el análisis de consecuencias, para analizar las consecuencias originadas de un peligro potencial, y el análisis de peligros y operabilidad para evaluar tanto la causa como la consecuencia de los peligros potenciales de la misma planta isomerizadora

El análisis de consecuencias de incendios y explosiones, no sirvió para evaluar el área de afectación si alguno de los reactores de la planta isomerizadora llega a tener fuga de las sustancias que contiene, la cual es una mezcla explosiva de combustibles (mezcla de pentanos y hexanos). De lo cual se observa, que si se llega a presentar dicha fuga por alguna de las bridas de la descarga de los reactores, se presentaría una fuga en fase gaseosa, la cual podría originar la formación y dispersión de nube de gas explosiva o flamable, un dardo de fuego (jet fire), o una explosión tipo TNT, cuyo rango de afectación se encuentra entre 15 m. (efectos fatales y pérdida total de equipos) y 200 m (rompimiento de ventanas).

El análisis de árbol de fallas, nos permitió encontrar las causas que podrían ocasionar la falla de la torre estabilizadora, que por su magnitud e importancia en la planta, provocaría daños muy severos. Se encontraron 6 fallas en el segundo nivel del árbol: falla por apertura máxima de una válvula de presión, falla por alto nivel en la torre estabilizadora, falla por calentamiento de la torre estabilizadora, falla por alta temperatura en la torre estabilizadora, falla de la válvula de seguridad de presión a desfogue (PSV-14), falla por cierre total de la válvula de control de presión a la torre lavadora (PV-9008). De cada una de estas fallas se analizaron las fallas básicas, por ejemplo: para que se origine la falla por alto nivel de la torre estabilizadora, pueden ocurrir: falla por alto nivel del acumulador de reflujo de la torre (FA-910), falla de control de nivel (LV-9003) o por incremento excesivo de hidrocarburos provenientes de los reactores (DC-901A/B). Las causas encontradas más comunes fueron, fallas de suministro de aire de instrumentos: falla por mantenimiento y falla por error humano. Por otro lado, esta técnica nos dio el valor de la probabilidad de que ocurra la falla de la torre estabilizadora (0.04%), en donde están involucradas las probabilidades de cada causa considerada en el árbol.

El análisis de peligros y operabilidad, demostró ser una técnica muy completa, pues permitió, evaluar detalladamente cada sección. Se seleccionaron tres circuitos para realizar el HazOp: reacción, estabilización y lavado cáustico. Se actualizaron los diagramas de tubería e instrumentación para tener la



información real para analizar. Se elaboraron las hojas de resultados del HazOp que resultaban de las reuniones de estudio.

Del circuito 1, de la sección de estabilización se analizaron 19 escenarios de los cuales se revisaron desviaciones por: no flujo, menos flujo, alta temperatura, baja temperatura, alta presión, baja presión y existencia de contaminantes en la carga. Del circuito 2, de la sección de estabilización se analizaron 16 escenarios cuyas desviaciones fueron: alta temperatura, baja temperatura, alta presión, baja presión, alto nivel y bajo nivel. Del circuito 3, de la sección de lavado cáustico se encontraron 12 escenarios, que sus desviaciones fueron: también por alta temperatura, alta y baja presión, menos concentración de sosa, alto nivel y bajo nivel. Por ejemplo, el escenario 4 del circuito de reacción, se planteo como desviación menos flujo en la alineación del flujo hacia la torre estabilizadora, que como consecuencia se tendría bajo rendimiento de productos, productos fuera de especificación, y alto nivel en la torre estabilizadora. De acuerdo a la matriz de riesgos, con una frecuencia de 3, gravedad de 2 se tenía un riesgo de índice 6, lo cual indica un riesgo de clase B (prioridad media), es decir, se debe realizar un análisis no inmediato, pero que evalúe el riesgo en función de costos y reduzca el riesgo. Para este tipo de falla se cuenta como protecciones la capacitación constante de los operadores y los controles de nivel de la torre estabilizadora, para que se cierren o abran automática o manualmente en caso de que el flujo no sea el adecuado. Así se efectuó el análisis "paso a paso" con ayuda de las palabras guía, la información, experiencia y evaluación de los analistas.

Como ingenieros debemos idear las herramientas que nos ayuden a predecir el futuro, en base a la información como: peligros y riesgos del proceso en todas las etapas de operación: arranque, paro, etc; incidentes previos; controles administrativos y de ingeniería y la consecuencia de su falla, factores humanos, evaluación cualitativa de los posibles efectos sobre los empleados, ubicación de la instalación y de los equipos. Es aconsejable que cada proceso alto riesgo sea analizado aproximadamente cada cinco años o antes si ocurre algún suceso que lo justifique. La aparición de incendios frecuentes, una explosión o incendio, o bien, interrupciones de la operación, determinarán el que se efectúe un análisis de peligros y riesgos. Las técnicas a aplicar serán todas las que satisfagan plenamente el estudio que se encuentren presentes y aseguren la confiabilidad de la unidad de sus operaciones.

La importancia de analizar los peligros y riesgos, en una planta isomerizadora, reside en: identificar las causas que provoquen un accidente, evaluar las consecuencias que puedan producirse y cuantificar la magnitud del daño; con el fin de poder tomar la decisión mas apropiada para reducir o evitar por completo el riesgo. Ya que este tipo de análisis es una de las tareas básicas para asegurar la seguridad de las plantas químicas.

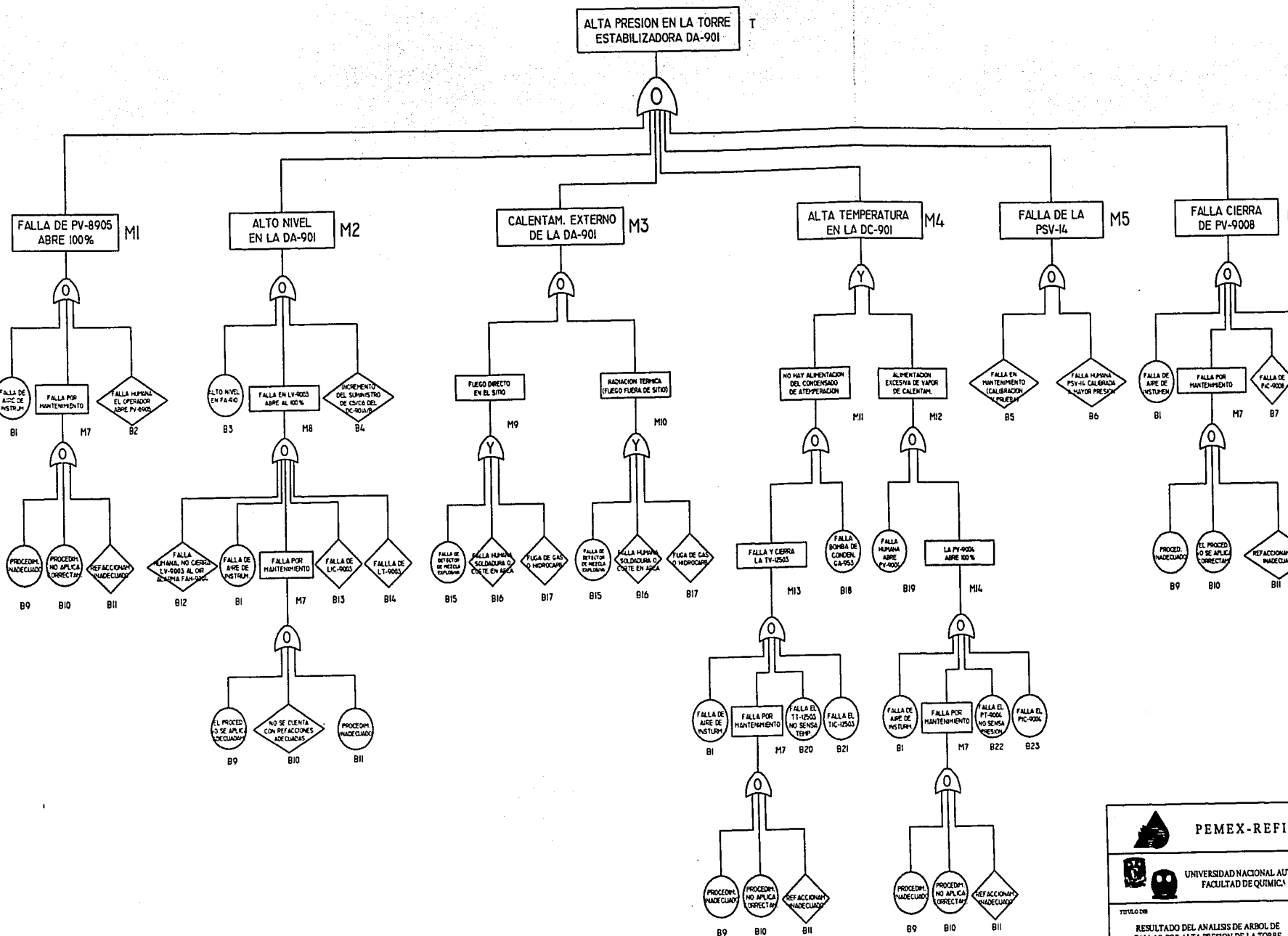


ANEXO

LISTA DE ABREVIATURAS

Abreviatura	Significado
API	American Petroleum Institute (Instituto Nacional del Petróleo)
ASME	American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecanicos)
CENAPRED	Centro Nacional de Prevención de Desastres
CRETIB	Corrosivas, Reactivas, Explosivas, Tóxicas, Inflamables y Biológico-infecciosas
DFP's	Diagramas de Flujo de Proceso
DTI's	Diagramas de Tubería e Instrumentación
ETA	Event Tree Analysis (Análisis de Árbol de Eventos)
F	Frecuencia
FMECA	Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (Análisis de Modos de Fallas, Efectos y Criticidad)
FTA	Fault Tree Analysis (Análisis de Árbol de Fallas)
G	Gravedad
HazOp	Hazard and Operability Analysis (Análisis de Peligros y Operabilidad)
LEGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LOI	Límite de Operación Inferior
LOS	Límite de Operación Seguro
LPRL	Ley de Prevención de Riesgos Laborales
LSI	Límite Seguro Inferior
LSS	Límite Seguro Superior
MTBE	Metil Terbutil Eter
NFPA	National Fire Protection
OSHA	Occupational Security and Health Agency (Agencia de la Salud y Seguridad Ocupacional)
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PHA	Preliminary Hazard Analysis (Análisis Preliminar de Peligros)
PRONAPAARA	Programa Nacional de Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental
R	Riesgo
SEMARNAT	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
TAME	Teramil Etil Eter

ARBOL DE FALLAS POR ALTA PRESION
DE LA TORRE ESTABILIZADORA DA-901

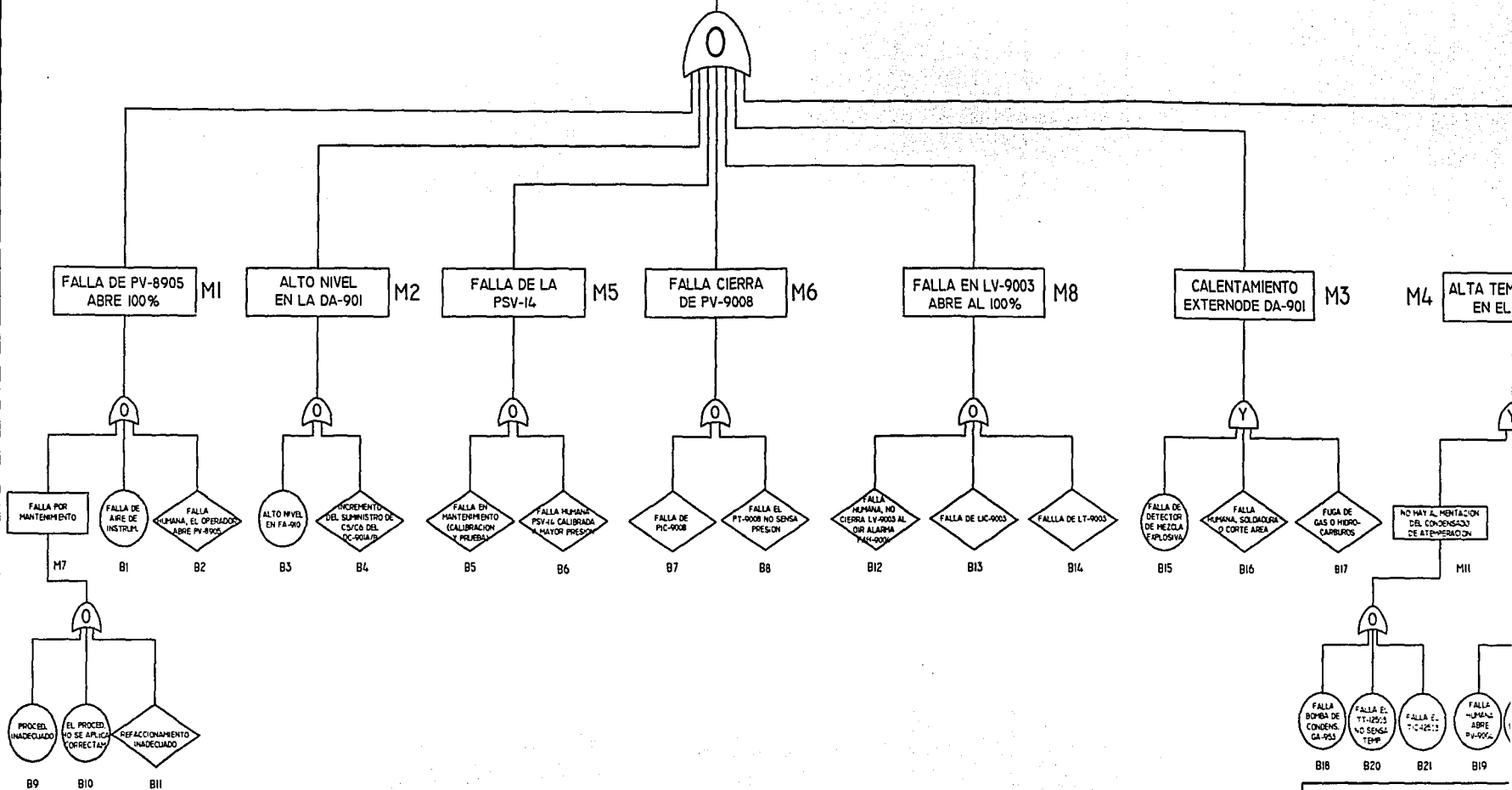


ARBOL DE FALLAS REDUCIDO
POR ALTA PRESION
DE LA TORRE ESTABILIZADORA DA-901

ALTA PRESION EN LA TORRE
ESTABILIZADORA DA-901

ARBOL DE FALLAS RESULTADO (REDUCIDO)
DESPUES DEL TRATAMIENTO CON CONJUNTOS
MINIMOS, DE ALTA PRESION EN LA TORRE
ESTABILIZADORA DA-901.

PROBABILIDAD: $4.0E-02$
FRECUENCIA: $4.0E-02$ veces/año.



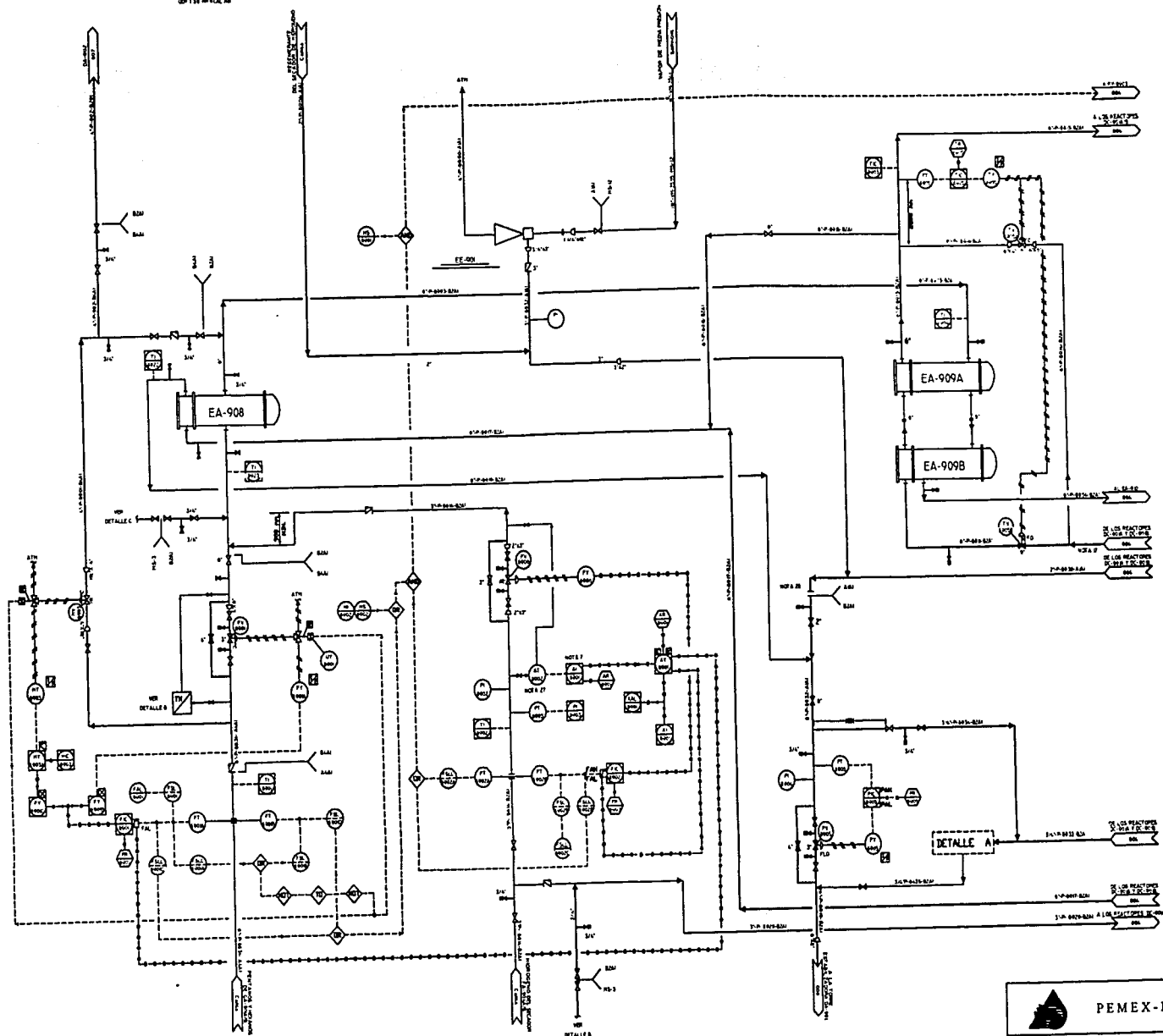
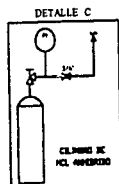
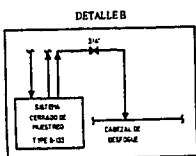
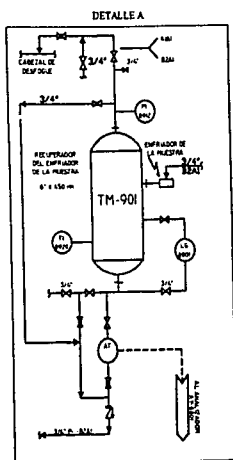
TM-901
RECUPERADOR DE EMPAQUEO DE PLESTOS
Ø 1450 mm
T 51.430 m

EA-908 (330-ES)
INTERCAMBIADOR DE CALOR
SALIENTE
ØD 150 mm CAL. 40

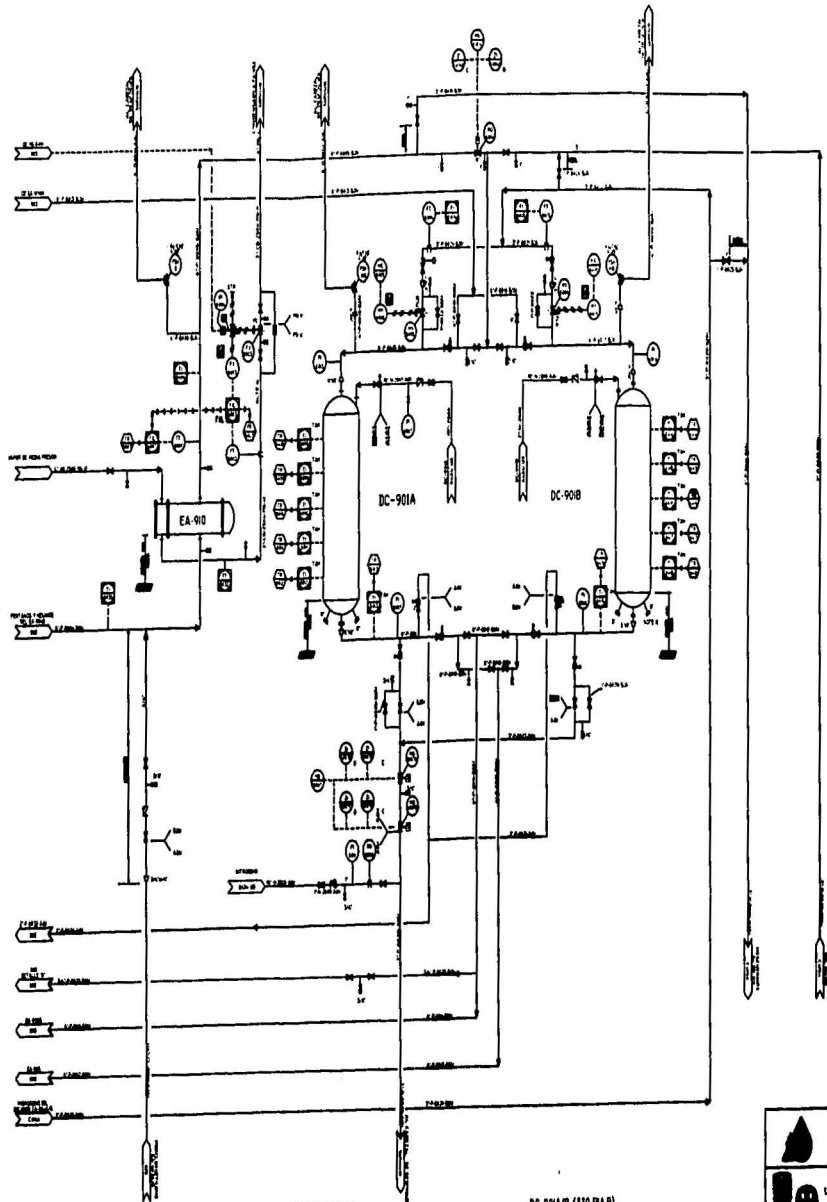
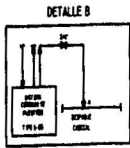
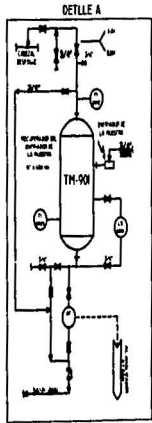
EE-901 (330-J)
EFECTOR

EA-909 A.B (330-E6)
INTERCAMBIADOR DE CALOR
Ø 1450 mm
T 51.430 m

SECCION REACCION



SECCION DE REACCION



EA-910 (330-E7)
LAMPARAS DE OLIO

DC-901A/B (330-RIAB)
SECCION DE INSTRUMENTACION
1° FASE
1-1-60

PEMEX-REFINAC

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
FACULTAD DE QUIMICA COM E S

OPERA

DISEÑO DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
DE LA SECCION DE REACCION (2ª PARTE)
DE UNA PLANTA REFINADORA DE CYLOR

INYECCION DE CLORUROS

GA-902(130 P5)

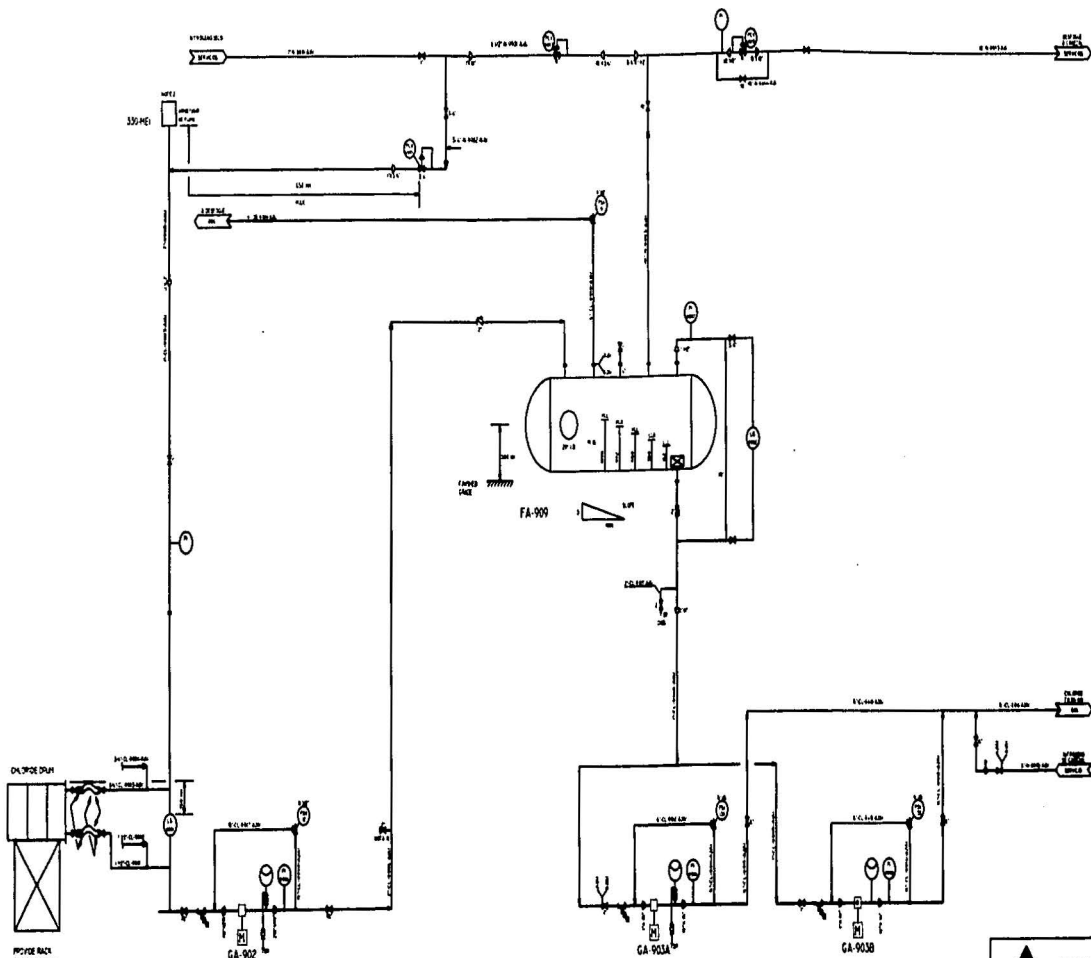
PROYECTO TECNICO DE
LAVADO
DE CLORURO
DE PLATA

FA-909(130 #10)

PROYECTO DE
DISEÑO DE
LAVADO DE
CLORURO DE
PLATA

GA-903(130 P4)

PROYECTO
DE
DISEÑO DE
LAVADO DE
CLORURO DE
PLATA





POZOS BUCAL
POR TUBERIA
400 PIES

GA-902

GA-903A

GA-903B

 PENEX-REFINACI	
 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA COM E. L. A.	
PROYECTO DISEÑO DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN EN LA RECCION DE REACCION INYECCION DE CLORURO DE UNA PLANTA EMERGENCIA EN ESTE	No. P.

EC-902 (330 EA3)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

EA-911 (330 E10)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

EC-903 (330 EA2)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

EA-913 (330 E8)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

DA-904 (330 V7)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

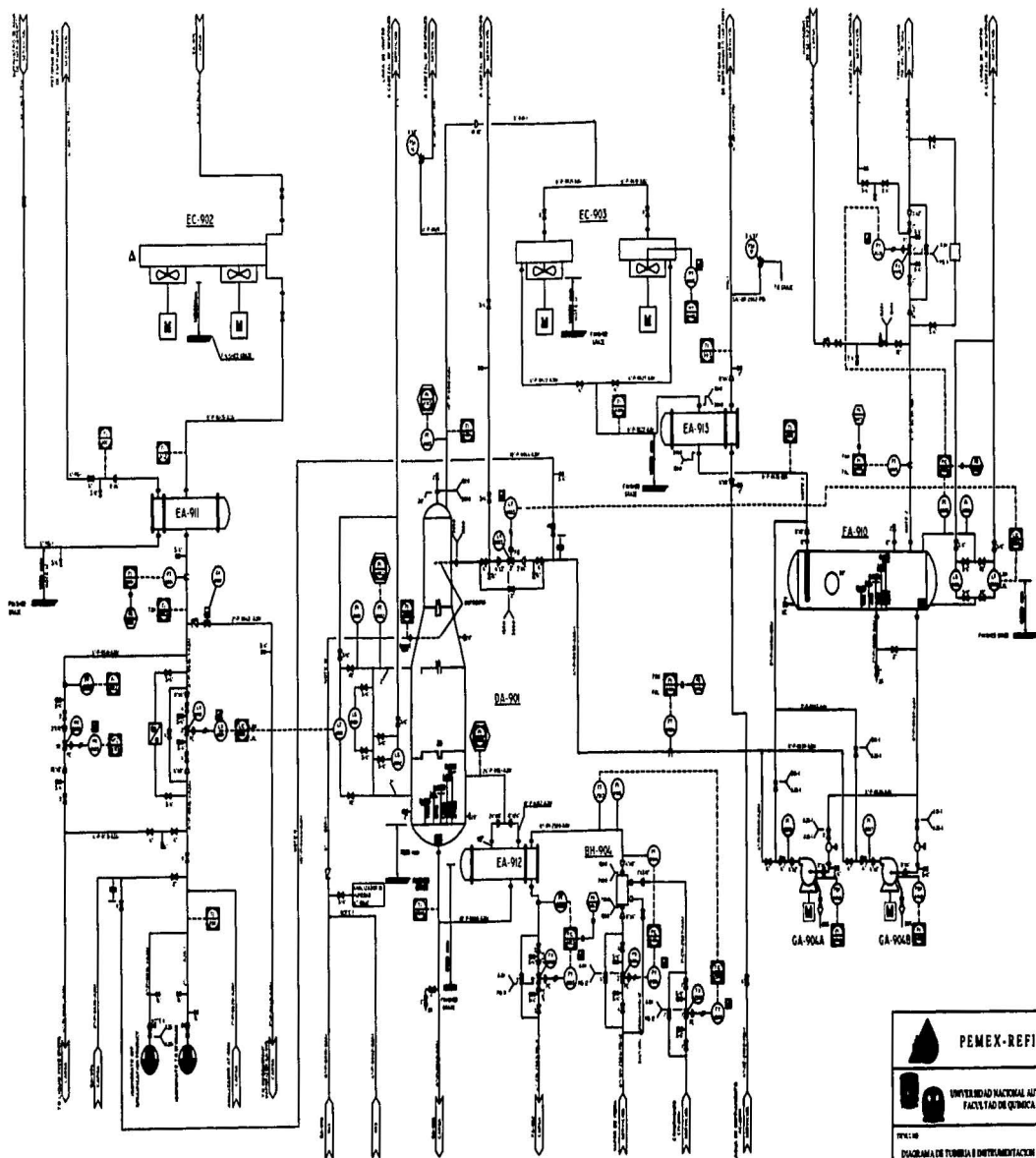
FA-910 (330 V8)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

BH-906
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

EA-912 (330 E9)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

GA-904 A/B (330 P2 A/B)
 1.140.000.000.000
 01.1.1.1.1.1.1

SECCION DE ESTABILIZACION



PEMEX-REFINACION	
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA COMERCIAL	
TITULO: DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION DE LA SECCION DE ESTABILIZACION DE UNA PLANTA HOMOGENEADORA DE C5/C6	No. DE... PAG.

GA 906 A/B (330 P3)

UNIDAD DE LAVADO DE AGUA
DE 1.500 GPM
DE 1.500 GPM

FA 911 (330 V11)

UNIDAD DE LAVADO DE AGUA
DE 1.500 GPM
DE 1.500 GPM

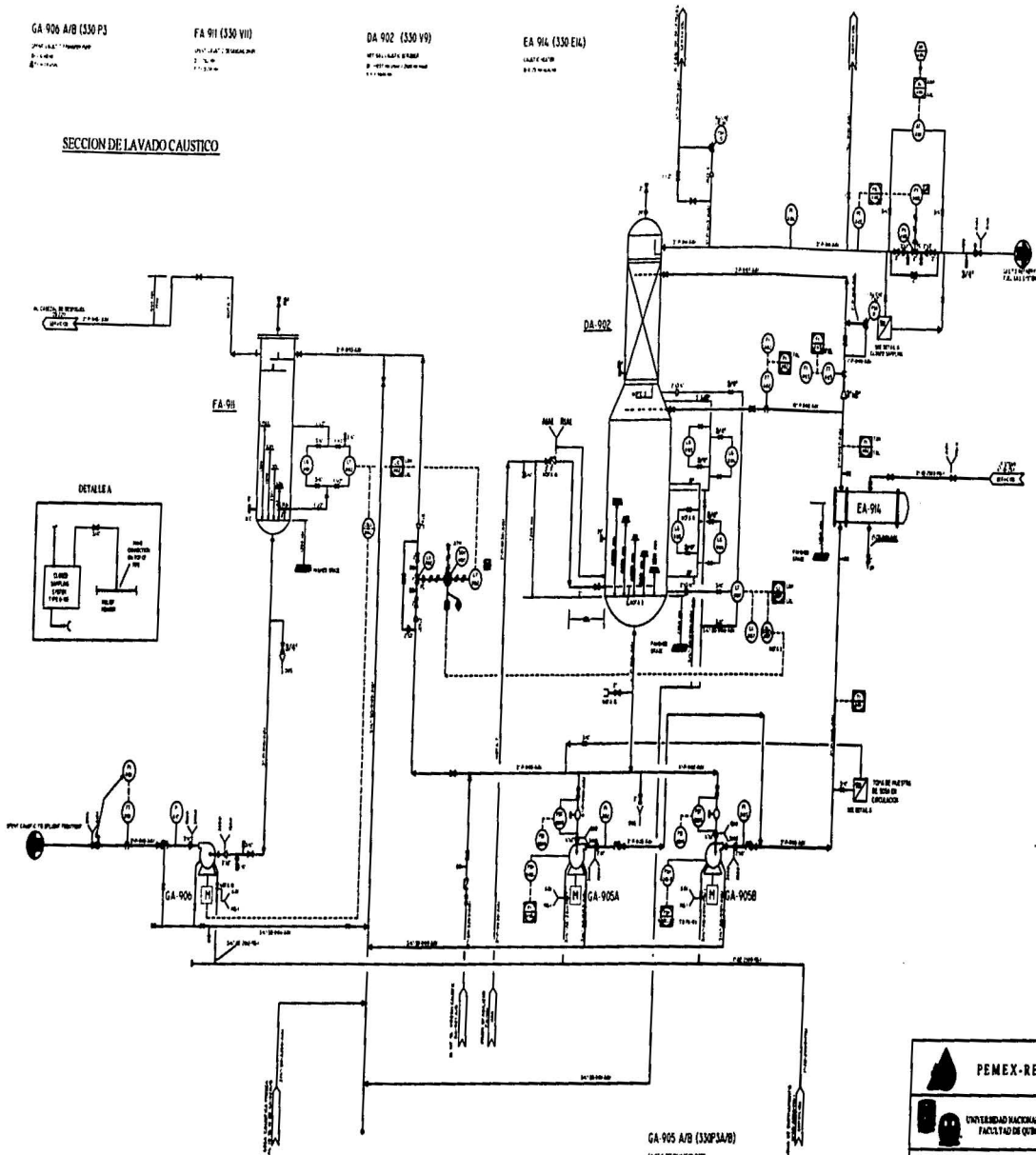
DA 902 (330 V19)

UNIDAD DE LAVADO DE AGUA
DE 1.500 GPM
DE 1.500 GPM

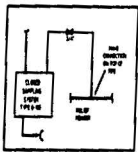
EA 916 (330 E14)

UNIDAD DE LAVADO DE AGUA
DE 1.500 GPM
DE 1.500 GPM

SECCION DE LAVADO CAUSTICO



DETALLE A



GA 905 A/B (330P3A/B)

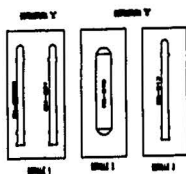
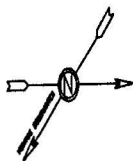
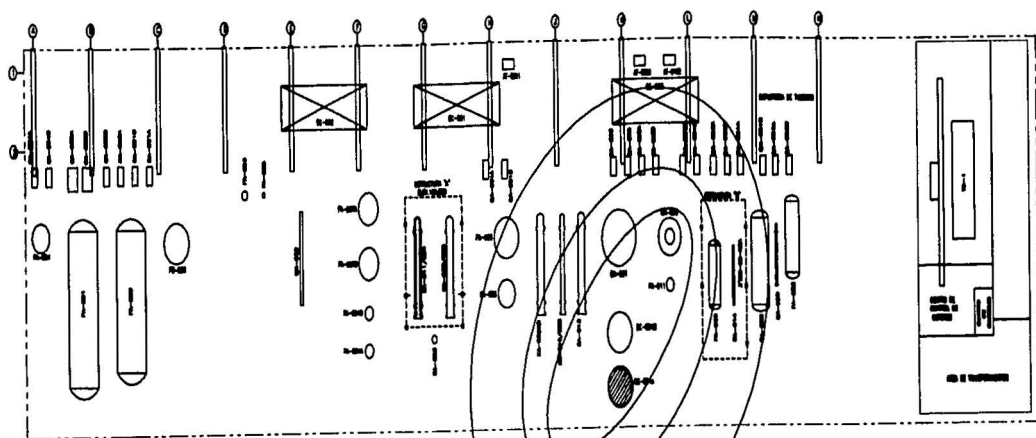
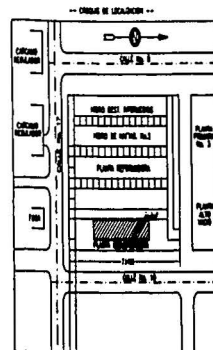
UNIDAD DE LAVADO DE AGUA
DE 1.500 GPM
DE 1.500 GPM

PEMEX-REFINACI

UNIDAD NACIONAL AUTONOMA
FACULTAD DE QUIMICA COM E I A


PROGRAMA DE FUNDACION E IMPLEMENTACION
DE LA SECCION DE LAVADO CAUSTICO
DE UNA PLANTA REFINERIA DE CI Y C

AREAS DE AFECTACION POR DARDO DE FUEGO (JET FIRE)
 DEL REACTOR DC-901B
 POR FUGA DE MEZCLA EXPLOSIVA EN LA BRIDA DE DESCARGA



RADIOS DE AFECTACION POR RADIACION DEL DARDO
 DE FUEGO

- 1er elipse R = 44m, r = 19m
- 2a elipse R = 54m, r = 34m
- 3er elipse R = 76m, r = 59m

 PEMEX-REFINACION	
INSTITUTO NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA (CUELQ-11)	
OFICINA RESULTADO DEL ANALISIS DE CONSECUENCIAS DIAGRAMA DE LOCALIZACION DE LAS AREAS DE AFECTACION POR DARDO DE FUEGO POR FUGA EN EL REACTOR DC-901B	No. DBI PAG.



GLOSARIO

alquilación: adición de un grupo alquilo a un compuesto o varios compuestos orgánicos.

accidente: suceso eventual que altera el orden regular de las cosas provocando situaciones adversas a sistemas, personas, medio ambiente o a la propiedad.

ácido: sustancia que puede recibir un par de electrones para formar un enlace covalente (Lewis). Sustancia que entrega un protón (Lowry-Bronsted).

base: sustancia que puede suministrar un par de electrones para formar un enlace covalente (Lewis). Sustancia que acepta un protón (Lowry-Bronsted).

bomba: es un dispositivo que sirve para desplazar fluidos de una altura a otra, para introducirlo a un recipiente, o para disminuirle la fricción en una tubería, ya sea por: acción de la fuerza cinética, por desplazamiento volumétrico, por impulso mecánico, por transferencia de cantidad de movimiento, por fuerza electromagnética o por fuerza de gravedad. La cantidad de trabajo que realiza esta en función de su capacidad (GPM o m^3/min) y de la carga del fluido (m o ft).



cambiadores de calor: son dispositivos que aprovechan la transferencia de calor entre dos fluidos. Existen varios tipos como: enfriadores de una temperatura mayor a una menor, condensadores de vapores o mezcla de estos, calentadores que aplican un calor sensible a un líquido o gas mediante la condensación de un vapor, intercambiadores de calor de un fluido caliente y otro frío, rehervidores o vaporizadores.



catalizador: es una sustancia capaz de transformar a otras en una reacción química, que al final de la reacción permanece sin alteración física o química, actúa en cantidades pequeñas con respecto a los reactivos y acelera la velocidad de la reacción pero no modifica la posición del equilibrio químico.

combustión: es una reacción química que libera energía a partir de la oxidación de un material determinado y el fuego es su consecuencia visible.

cracking: proceso que convierte alcanos superiores en inferiores y en alquenos, con lo que aumenta el rendimiento en gasolina, y para la producción de gas natural.

Eyector: es un dispositivo simplificado de una bomba al vacío o compresor, sin ninguna pieza móvil como rotores, pistones o válvulas. Se usan para el manejo de gases o vapores, o mezclas húmedas o secas con materiales sólidos.



fuego: es el resultado de una reacción de oxidación de material combustible acompañada de una liberación de energía en forma de luz y calor. El combustible, oxígeno, calor y en proporciones propias crean un fuego y si uno de estos elementos faltara no existiría tal acción. Pero en términos generales para que se origine fuego deben existir: combustible, comburente y fuente de ignición.

fuentes de ignición: superficies calientes, equipo eléctrico, ignición espontánea, chispas, fósforos, ignición intencionada, electricidad estática.



hidrogenación: adición de átomos de hidrógeno a ambos lados de un doble o triple enlace.

ignición: estado de los cuerpos que están incandescentes debido al calor desprendido por su rápida oxidación. Para que ocurra la ignición se necesita energía mínima de ignición y material inflamable.

incendio: Fuego no controlado. Para que se produzca es necesario que existan los siguientes elementos: combustible, comburente y una fuente de ignición.

índices de toxicidad: son parámetros toxicológicos que se utilizan en la evaluación de riesgos y se obtienen de los estudios de dosis-respuesta. Los valores de estos parámetros son los que se comparan con las dosis suministradas que se estiman en los estudios de exposición a tóxicos ambientales. La mayoría de los valores publicados de los índices de toxicidad se calculan en base a efectos observados experimentalmente en exposiciones controladas de animales de laboratorio.

inflamabilidad: se refiere a la facilidad con que una sustancia puede arder en el aire o en otro gas que sirva como comburente.

isomerización catalítica: reestructuración de los átomos de una molécula orgánica, como la transformación de los alcanos de cadena recta en alcanos ramificados con ayuda de un catalizador. Una utilidad relevante de este proceso es para mejorar la calidad de las gasolinas de parafinas lineales de pentanos y hexanos aumentando su número de octanaje como sucede al isomerizar el hexano (de 24.8) a 2,2-dimetilbutano (de 24.8) y el n-pentano (de 61.7) a isopentano (de 93.5).

isómero: son los compuestos que tienen la misma fórmula molecular, pero diferentes propiedades físicas y químicas.

límites de inflamabilidad: proporciona el intervalo de concentraciones de combustible (en % en volumen) dentro del cual una mezcla gaseosa puede entrar en ignición y arder, es decir incendio. El límite inferior de inflamabilidad (LII) no existe suficiente combustible como para propagar la combustión y el límite seguro se considera de la mitad de este límite. El límite superior de inflamabilidad (LSI) dice que no hay suficiente comburente como para que la reacción se propague lejos de la fuente de ignición.

octanaje: número expresado como equivalente de volumen de iso-octano (2,3,4-trimetilpentano) conocido en una mezcla de iso-octano y heptano normal, que posee las propiedades antidetonantes del combustible. Se utiliza como referencia para indicar el grado de detonancia de una gasolina.

peligro: condición física y/o química inherente que produce efectos adversos a un sistema, personas, medio ambiente o a la propiedad.

probabilidad: matemáticamente se define como la razón del número de casos favorables y el número de casos igualmente posibles.

reformación catalítica: proceso que convierte los alcanos y los cicloalcanos en hidrocarburos aromáticos.

riesgo: probabilidad de que se origine un daño provocando efectos adversos.

válvula: es un dispositivo mecánico para controlar, retener, regular, o dar paso a cualquier fluido entubado. Dependen del tipo de fluido, material, presión, tipo de unión, temperatura, diámetro de tubería, etc. Existen varios



tipos: compuerta, retención (check), mariposa, reguladoras de temperatura, presión o de seguridad y alivio, de venteo, de diafragma, bola, globo, aguja y de ángulo.



BIBLIOGRAFIA

1. Center for Chemical Process Safety.
Guidelines for Hazard Evaluation Procedures.
American Institute of Chemical Engineers. 2nd. ed. USA. 1992
2. Chemical Safety Data Sheets, Flammable Chemicals.
Royal Society of Chemistry. USA. 1989. Vol. 1, pp. 184-187
3. Chemical Safety Data Sheets, Flammable Chemicals.
Royal Society of Chemistry. USA. 1989. Vol. 5, pp. 203-206
4. Chul Suh, Jung; Byungwoo Lee, In Koo Kang, and En Sup Yoon
An Expert System for Automated Hazard Analysis based on Multimodel Approach.
Elsevier Science Limited. Great Britain. 1997.
Computers chem.. Engng. Vol. 21. Suppl., pp. S917-S922
5. Field, Barry C.
Economía ambiental, una introducción.
Mc. Graw Hill. Colombia. 1995
6. García Gómez, Pedro
Determinación de alternativas para la producción de gasolinas reformuladas con características ecológicas.
PEMEX-Refinación. México. 1995
7. Geankoplis, Christie J.
Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.
2ª ed. Casa Editorial Continental. México. 1995
8. Henley, Ernest; J.D. Seader
Operaciones de separación por etapas de equilibrio en ingeniería química.
Edic. REPLA. México. 1990.



9. Manual de la Planta de Isomerización de Pentanos y Hexanos.
PEMEX-Refinación. México. (2001)

10. Nasser S. Fard
Determination of Minimal Cut Sets of a Complex Fault Tree.
Elsevier Science. Great Britain. 1997.
Computers Ind. Eng. Vol. 33, Nos. 1-2, pp. 59-62

11. Neilson Boyd. Robert: Robert Thornton Morrison.
Química Orgánica.
Fondo Educativo Latinoamericano. EUA. 1976. 1291 p.

12. Perry. Robert; Cecil Chilton.
Manual del Ingeniero Químico.
5a ed. Mc. Graw Hill. México. 1982

13. Redmill; Chudleigh; Catmur
Principles underlying a guideline for applying Hazop to programmable electronic system.
Elsevier Science Limited. Northern Ireland. 1997.
Reliability Engineering and System Safety 55 pp. 283-293.

14. Rosas Jaramillo, José A; Nicolás Rodríguez Martínez y Lorenzo J. Olivares Pérez.
Evolución de la reformulación de combustibles automotrices en las zonas metropolitanas.
XXXVIII Convención Nacional del Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos. A.C. Oaxaca.
1998.

15. Santamaria Ramiro, J.A; P.A. Braña Aísa
Análisis y Reducción de riesgos en la Industria Química.
Fundación MAPFRE. España. 1994. 526 p.

16. Sandler; Ferdock; McEdowney; Leverenz.
Making Process Safety of sustaining performance in the 21st Century.
<http://google.yahoo.com>



17. Schacht; Luna; Ramírez; Hernández.
Activación de Catalizadores platino-alumina para el proceso de isomerización de parafinas lineales. IMP. (2002)

18. Sinnamon, R.M; J.D. Andrews
New approaches to evaluating fault trees.
Elsevier Science Limited. Northern Ireland. 1997.
Reliability Engineering and System Safety 58 pp. 89-96.

19. The Merck Index, an Encyclopedia of Chemicals and Drugs.
Merck & Co., Inc. 9a. ed. USA. 1976.

20. Trevor A. Kletz
Hazop, past and future.
Elsevier Science Limited. Northern Ireland. 1997.
Reliability Engineering and System Safety 55 pp. 263-266.

21. página web: <http://www.ccnapred.com/>
22. página web: <http://www.ine.gob/>
23. página web: <http://www.imp.mx/>
24. página web: <http://www.isoessay.com>
25. página web: <http://www.pemex.com/>
26. página web: <http://www.profepa.gob.mx/>
27. página web: <http://www.semarnat.gob.mx/>