

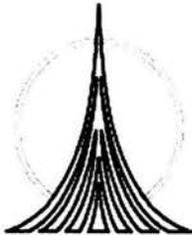


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

"ANÁLISIS DE RIESGOS DE PROCESO DE LA
SECCIÓN DE TRATAMIENTO DE PRODUCTOS
DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE
2,2,4 TRIMETILPENTANO (ISOOCTANO)"

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA QUÍMICA
P R E S E N T A :
XÓCHITL PALOMARES ARELLANO



UNIDAD EN LA DIVERSIDAD:
ZARAGOZA FRENTE AL SIGLO XXI

MÉXICO D.F.

24 DE SEPTIEMBRE DE 2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/004/04

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNA. PALOMARES ARELLANO XÓCHITL
P r e s e n t e.

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

Presidente:	I.Q. Salvador Jacinto Gallegos Ramales
Vocal:	Dr. Modesto Javier Cruz Gómez
Secretario:	I.Q. Miguel Angel Varela Cedillo
Suplente:	M. en C. Pablo Eduardo Valero Tejeda
Suplente:	I.Q. Julio Félix Martínez Reyes

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E
“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”
México, D. F., 16 de Febrero de 2004

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

♣



“MÁS QUE UN LOGRO, ES UN RECONOCIMIENTO A LA LABOR Y DEDICACIÓN QUE TUVIERON MIS PADRES, PARA QUE LOGRARA SER ALGUIEN EN LA VIDA”

Xóchitl.



Doy gracias a Dios por haberme permitido terminar este objetivo parte de mi vida, a pesar de todos los tropiezos encontrados.

A mis padres y hermanos por que nunca me dejaron caer y me enseñaron a enfrentar la vida con todos sus fracasos, y siempre estuvieron con migo en las buenas y en las malas.

A mi esposo, por que se acerco a mí y me tendió su mano cuando yo lo necesitaba.

A Ricardito, por ser la alegría más grande de mi vida y la inspiración principal para seguir adelante.

A mi gran amiga Elena, por que sin su apoyo y compañía las cosas hubieran sido más difíciles.

A mi gran amiga Esmeralda CCH sur, por su gran ejemplo de madurez e inteligencia.

A mis queridos amigos de la FES: Iván, Juan, Marco Antonio, Gerardo (Biología), Leonel, Julio, Fabián, Eduardo y Carlos.

A mis compañeros de la FES: Abraham, Bernardo, Raúl, Israel, Alejandro, Humberto, Oscar, Nazario, Salvador, Carlos, Lupita, Liz, Esmeralda, Sadya, Fanny, Marlene, Rosi, Abigail, Javier, Miguel (paramédico), el comandante, Rafael.

Al equipo de básquetbol: Berenice, Alejandra, Adriana, Jacqueline, Sandra, Carolina y al entrenador.

A todos mis profesores, que contribuyeron a mi formación desde el preescolar, pero en especial a los de la FES, por que sin sus enseñanzas no hubiera sido posible la realización de este trabajo.

A PEMEX refinación, por el apoyo otorgado a través de la Universidad para poder elaborar el documento.

Al Dr. Javier Cruz, por haberme aceptado en su proyecto para la actualización de los Diagramas de Tubería e Instrumentación.

A todos mis compañeros del Laboratorio 212: Columba, Alfredo, Carlos, Jazael, Jessica, Orlando, Arturo, Víctor, Ramón, José, Miriam, Néstor, Efraín, Fermín, Braulio, Carlos, Erica y Griselda.

En especial a la Universidad Nacional Autónoma de México, por haberme permitido ser parte de su comunidad universitaria y de esta manera alcanzar el objetivo planteado.

A todos los charapenses por haber contribuido en mi formación cultural y social.

A toda las personas que han formado parte de mi vida, "por que todos somos reflejo de la gente que conocemos".



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	i
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	
1. INTRODUCCIÓN	6
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.2. OBJETIVOS	8
1.3. HIPÓTESIS	8
CAPÍTULO II ANTECEDENTES	
2. ANTECEDENTES	10
2.1. DEFINICIÓN DE RIESGO	11
2.2. ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS	12
2.2.1. IDENTIFICACION DE RIESGOS	13
2.2.2. ANÁLISIS DE RIESGOS	14
2.2.3. PLANIFICACION DE ACCIONES	24
2.2.4. SEGUIMIENTOS DE RIESGOS	24
2.2.5. CONTROL DE RIESGOS	24
2.3. GENERALIDADES	25
2.3.1. PROCESO DE ALQUILACIÓN	27
2.3.2. SECCIÓN DE TRATAMIENTOS DE PRODUCTOS	31
CAPÍTULO III TRABAJO EN CAMPO	
3. TRABAJO EN CAMPO	34
3.1. ANÁLISIS HazOp	34
3.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA)	42
3.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	46
CAPÍTULO IV	
4. RESULTADOS	53
4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS HAZOP	53
4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FTA	58
4.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	68



CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES	74
	BIBLIOGRAFÍA	76
	APÉNDICE A DIAGRAMAS	
	APÉNDICE B PROPIEDADES	
	APÉNDICE C ÁCIDO FLUORHÍDRICO COMO CATALIZADOR	
	APÉNDICE D NORMAS	
	GLOSARIO DE TERMINOS	



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1.	Accidentes importantes, causas y consecuencias	10
Tabla 2.2.	Resumen de métodos y características para la identificación de riesgos	22
Tabla 3.1.	Palabras secundarias	35
Tabla 3.2.	Matriz de riesgos	39
Tabla 3.3.	Frecuencias	40
Tabla 3.4.	Gravedades	40
Tabla 3.5.	Matriz de clases de riesgo	41
Tabla 3.6.	Clases de riesgo	41
Tabla 3.7.	Reglas booleanas de uso frecuente	45
Tabla 3.8.	El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos	46
Tabla 3.9.	Tipos principales de peligros y los parámetros de consecuencias típicos	47
Tabla 4.1.	Circuitos del estudio HazOp	53
Tabla 4.2.	Diagramas utilizados	53
Tabla 4.3.	Descripción del escenario de sobre presión en la torre fraccionadora DA-304	58
Tabla 4.4.	Descripción del escenario incendio en la bomba GA-320 A/B	59
Tabla 4.5.	Descripción del escenario taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B	59
Tabla 4.6.	Relación de diagramas de árbol de fallas	59
Tabla 4.7.	Descripción de escenarios de incendio y explosión	68
Tabla 4.8.	Datos para el escenario fuga de propano en la bomba de propano producto GA-320 A/B	69
Tabla 4.9.	Datos para el escenario fuga de butano en la bomba de propano producto GA-321 A/B	69
Tabla B.1.	Propiedades químicas y físicas del HF	
Tabla B.2.	Propiedades químicas y físicas del propano	
Tabla B.3.	Propiedades químicas y físicas del butano	
Tabla B.4.	Propiedades químicas y físicas del aceite soluble en ácido	
Tabla B.5.	Propiedades químicas y físicas del isobutano	



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1.	Identificación de riesgos	13
Figura 2.2.	Diagrama del árbol de sucesos	19
Figura 2.3.	Diagrama descriptivo del índice de MOND	21
Figura 3.1.	Ejemplo de árbol de fallas	43
Figura 3.2.	Simbología para la realización de un árbol de fallas	44
Figura 3.3.	Esquema representativo de conjunto de accidentes posibles a partir de una fuga de gas o líquido	49
Figura 3.4.	Phast	50
Figura 3.5.	Modelos de aplicación del Phast	51
Figura 4.1.	Radios de afectación por fuga de propano de la bomba GA-320 A/B	70
Figura 4.2.	Radios de afectación por fuga de butano de la bomba GA-321 A/B	71
Figura B.1.	Fenómenos físicos	
Figura B.2.	Fenómenos químicos	
Figura C.1.	Esquema de un reactor de lecho fluidizado	
Figura C.2.	Estructura de una zeolita	



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN



1. INTRODUCCIÓN

La seguridad es un tema muy importante a nivel mundial, ya que los seres humanos procuran vivir libres y exentos de todo peligro, pero esto es inevitable debido a los riesgos que existen a su alrededor, ya sea por catástrofes naturales, industriales o bien accidentes que pueden sufrir en su mismo hogar.

Es por ello que accidentes graves como: Flixborough (Inglaterra), Bhopal (India), y Piper Alpha (Mar del Norte), llevaron al gobierno y a la industria a modificar los enfoques tradicionales de seguridad con aplicaciones nuevas de códigos y regulaciones realizadas con la experiencia y conocimiento de los expertos de la industria.

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

Accidentes similares al antes mencionado, no pueden anticiparse con facilidad y no puede esperarse a que ocurran para tomar decisiones. Ellos prácticamente nunca se producen por la acción de un único factor, si no que son el resultado de la coincidencia de varias fallas de equipos, errores humanos e indisponibilidades que al combinarse de forma inesperada desencadenan el costoso desastre.

Por lo general, el riesgo es valorado sólo una vez durante la planificación del proyecto, donde es identificado y mitigado; el problema es que posteriormente no es revisado explícitamente, provocando con eso pérdidas no deseadas. Para ello es necesario su identificación a tiempo y administración adecuada aumentando así las posibilidades de éxito del proyecto.

Ahora bien ya que los sistemas de peligros y mitigación cambian con frecuencia, identificar y evaluar los peligros son actividades constantes, que ocurren no sólo en la fase inicial de desarrollo del proyecto, sino a lo largo de la vida del mismo. Por lo tanto es importante realizar un análisis de riesgos cuando se hacen cambios en cualquier aspecto del proceso, hasta un cambio menor, como el remplazar o agregar una válvula o empaque, que puede afectar la seguridad del mismo.

En general para poder evaluar un riesgo es necesario identificarlo, categorizarlo y controlarlo y para lograrlo es necesario utilizar una metodología que al aplicar sus técnicas logre minimizar el peligro.



El análisis de riesgo ha demostrado ser una herramienta eficaz para minimizar accidentes, mediante la toma de decisiones oportunas. El análisis de riesgos es una disciplina relativamente nueva con raíces antiguas. Es una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, psicología, higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental, etc.

El análisis de riesgos sirve para:

- Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas y explosivas.
- Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- Localización de instalaciones potencialmente peligrosas.

Lamentablemente no se ha alcanzado el grado necesario de aplicación en nuestro país, particularmente en industrias peligrosas como la química y petrolera. Cuando se aplican, están dirigidos normalmente a satisfacer un requisito regulatorio indispensable para la explotación comercial de una instalación. Una vez que dicho permiso es obtenido, el análisis de riesgo se conserva y no es retomado sistemáticamente y actualizado para garantizar que se mantienen los niveles de seguridad iniciales.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad la estructura física y la forma de vida de las aglomeraciones periféricas que rodean las grandes ciudades son posibles gracias a un suministro de petróleo. Pero la seguridad y la salud pública es un tema que está muy relacionado con esta industria, es por ello que es necesaria la concientización de los industriales para prevenir accidentes tanto en el ámbito laboral como en sus alrededores.

Se sabe que un análisis de riesgo preliminar siempre es necesario para la fase de diseño de nuevas instalaciones, pero también es aplicable a instalaciones ya existentes debido a que éstas cambian constantemente de acuerdo a las necesidades del proceso, así, los riesgos no siempre estarán controlados, en especial en una planta productora de 2,2,4, trimetilpentano(isooctano) ya que se maneja ácido fluorhídrico (HF) que es un compuesto altamente tóxico, así como otros compuestos peligrosos y esto implica apegarse a ciertas prácticas de seguridad, por lo cual para poder minimizar el riesgo, es necesario un análisis de este tipo, aplicando técnicas como



Análisis de peligro y Operabilidad (HazOp), Árbol de Fallas (FTA), Análisis de Consecuencias (AC), entre otros.

1.2. OBJETIVOS

Objetivo General.

- Realizar el análisis de riesgo a la sección de tratamiento de productos de la planta productora de 2,2,4, trimetilpentano (isooctano); para la identificación y evaluación de posibles escenarios potenciales de riesgo.

Objetivos Específicos.

- Determinar las acciones correctivas y/o preventivas, para la toma de decisiones en la prevención de accidentes, mediante la utilización de la técnica HazOp (Análisis de peligro y Operabilidad).
- Determinar la probabilidad y frecuencia de uno o varios sucesos no deseados (riesgos), dentro de la sección de tratamiento, identificando las combinaciones de eventos intermedios y básicos, por medio de un Árbol de Fallas.
- Por medio de un análisis de consecuencias se buscará estimar y evaluar los posibles daños debido a fugas que puedan ocurrir en la sección de tratamiento de productos.
- Proponer alguna modificación dentro del proceso que permita la reducción de sustancias tóxicas.

1.3. HIPÓTESIS

A través de la aplicación del análisis de riesgos, utilizando técnicas como HazOp, FTA y análisis de consecuencias, es posible identificar los peligros para reducir o mitigar los riesgos probables que se puedan presentar en la sección de tratamiento de productos, de la Planta de Alquilación, ubicada en la Refinería Antonio Dovalí Jaime de Salina Cruz, Oaxaca.



CAPÍTULO II

ANTECEDENTES



2. ANTECEDENTES

En el año de 1960 surge un movimiento ambientalista, que influyó en las industrias y gobiernos para definir mejor los peligros químicos y evaluar el impacto de los accidentes, así como cuantificar los riesgos, para poder minimizar los accidentes industriales y disminuir sus consecuencias.

"Una serie de accidentes importantes en las décadas de 1970 y 1980 ayudaron a impulsar al gobierno de los países en general y a la industria a desarrollar métodos de análisis de peligros y riesgos efectivos y sistemas de administración del proceso de seguridad."^(a)

TABLA. 2.1. Accidentes importantes, causas y consecuencias.

FECHA/UBICACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIAS
Noviembre de 1996 San Juanico, México	Fuga e incendio de gasolina en una válvula.	Tres muertos y daños materiales.
Abril de 1992 Guadalajara, México	Fuga de hexano que explotó en sistema de drenaje	Más de 100 muertos, varios cientos de heridos y daños materiales.
Octubre de 1989, Pasadena, Texas	Fuga de etileno-isobutano en una planta petroquímica	23 muertes, 132 heridos; más de \$700 millones de dólares en pérdidas; mayor pérdida en tierra para industrias de hidrocarburos y químicos
Julio de 1988, Mar del Norte	Fuga de condensado de gas, en bomba y válvula de seguridad	167 muertes, número de heridos desconocido; 1 mil millones de dólares en pérdidas; pérdida de toda una plataforma petrolera
Abril de 1986, Planta Nuclear de Chernobyl	Sobrecarga de energía súbita y fusión del reactor	30 muertes durante el acontecimiento, más de 500 heridos; más de \$5.5 mil millones en pérdidas para fines de 1989; amplia difusión de la contaminación de ~50 millones de Ci (curios) que se liberaron; número de muertes a largo plazo suman miles
Diciembre de 1984, Bhopal, India	Fuga de gas isocianato de metilo, de una planta de pesticidas	4,000 muertes; más de 200,000 heridos; pérdidas desconocidas; \$470 millones pagados por reclamaciones de daños
San Juan de Ixhuatepec, México D.F. (México), 1984	Numerosas explosiones de depósitos y tanques de GLP debidas a una fuga y posterior explosión no confinada de GLP	Más de 500 muertos Más de 4,500 heridos Más de 1,000 desaparecidos Destrucción masiva de viviendas Efecto dominó procedente de la primera UVCE (Explosión por una Nube de Vapor "VCE")
Marzo de 1979, planta nuclear de Three Mile Island	Falla en sistema de enfriamiento	Sin muertes, ni heridos; \$1.3 mil millones en pérdidas; daños en la planta lo bastante serios para impedir que volviera a operar.



TABLA. 2.1. Accidentes importantes, causas y consecuencias (continuación).

FECHA/UBICACIÓN	CAUSA	CONSECUENCIA
Camping Los Alfaques, San Carlos de la Rápita (España), 1978	Explosión BLEVE (Explosión de Vapor en Expansión de un Líquido en Ebullición) de un camión sobrecargado de propileno al chocar contra un camping	215 muertos Destrucción completa del camping
Seveso (Italia), 1976	Reacción química fuera de control que provoca el venteo de un reactor, con liberación a la atmósfera de dioxina	Sin muertes Evacuación de más de 1,000 personas Abortos espontáneos y contaminación del suelo Autoridades ilocalizables (fin de semana) Las primeras medidas se tomaron a los cuatro días
Cubatao (Brasil), 1974	Bola de fuego de gasolina por fuga de un oleoducto	Al menos 500 muertos Graves daños al medio ambiente
Flixborough (Inglaterra), 1974	Explosión de vapor no confinada de ciclohexano	28 muertos y cientos de heridos Destrucción completa de las instalaciones

FUENTE: <http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0601News-MonthlyIncidents.htm>

2.1. DEFINICIÓN DE RIESGO

Un riesgo es la posibilidad de sufrir una pérdida o daño. Para un proyecto específico, el daño puede ser un producto terminado con menor calidad, costos más elevados, o no alcanzar en absoluto el propósito y el objetivo del proyecto. En otras palabras, un riesgo es un problema en espera de ocurrir y esta en función de la naturaleza del peligro. ⁽²⁾ Un peligro es un agente químico, biológico o físico (incluyendo la radiación electromagnética) o una serie de condiciones que son fuente de riesgo, pero no el riesgo en sí mismo. Las definiciones varían en cierto grado, dependiendo del contexto.

Los principales tipos de evaluación de riesgos son:

- Riesgos de la seguridad.
- Riesgos de la salud.
- Riesgos ecológicos y ambientales.
- Riesgos de bienestar público y buena disposición.
- Riesgos financieros.

Una definición común de riesgo es la posibilidad de que algo indeseable ocurra en un momento determinado. "La mayor parte de las personas piensan en el riesgo en términos de tres componentes. Algo malo que ocurre, las posibilidades de que ocurra y las consecuencias de si ocurre. Estos tres componentes del riesgo pueden ser utilizados como la base para estructurar los riesgos para evaluaciones."⁽⁶⁾



Se considera que los pasos necesarios para definir y medir riesgos son:

- a) Definir lo dañino al identificar la amenaza.
- b) Identificar los escenarios que puedan llevar a la amenaza.
- c) Medir la severidad o magnitud de los impactos.

Para tener una clara definición, es necesario diferenciar entre lo que es el peligro y el riesgo; el primero se considera como el riesgo de que suceda algún mal y es una propiedad inherente de un agente químico, biológico o físico en una serie de condiciones, mientras que el riesgo, por otra parte, es una función de probabilidad y consecuencia.

PROBABILIDAD DE UN RIESGO

Un riesgo se compone de dos factores: su probabilidad y su impacto. La probabilidad de un riesgo es la posibilidad de que un evento suceda en realidad. La probabilidad de un riesgo debe ser mayor que cero o el riesgo no representa una amenaza para el proyecto. Asimismo, la probabilidad debe ser menor que uno o el riesgo es una certeza, en otras palabras, es un problema identificado.⁶⁾

2.2. ADMINISTRACIÓN DE RIESGOS

La administración de riesgos es el proceso de evaluar, y, de ser necesario, controlar fuentes de exposición y riesgo. La administración de riesgos permite que una organización determine qué nivel de riesgos puede o desea aceptar, mientras construye su futuro.¹⁾

Puede desarrollar una disciplina y un ambiente de decisiones y acciones proactivas para valorar ininterrumpidamente lo que puede fallar, determinar cuáles riesgos es importante enfrentar e implementar estrategias para abordarlos.

Los tres objetivos de la administración de riesgos son:

- Reducir la probabilidad de ocurrencia.
- Reducir la magnitud de una pérdida.
- Modificar las consecuencias del riesgo.

"Existen dos enfoques con los que se administran los riesgos, el reactivo donde el equipo del proyecto reacciona a las consecuencias de los riesgos conforme ocurren y el proactivo donde el equipo utiliza un proceso visible, y a diferencia del anterior este se puede medir y repetir." ⁽³⁾

Cabe señalar que la administración de riesgos no se limita a un evento o circunstancia. Es un proceso dinámico que se desenvuelve a través del tiempo e involucra a la gente a todos los niveles.

2.2.1. IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

La identificación de riesgos es el primer paso en el proceso de la administración de riesgos. Todas las evaluaciones empiezan por una caracterización del peligro o definición del problema. Los riesgos deben identificarse antes de que puedan administrarse.

Los riesgos se pueden clasificar, según su origen, en dos tipos:

- **Naturales:** Aquellos cuyo desencadenante no está directamente provocado por la presencia o actividad del hombre, sino por factores geológicos y/o climáticos.
- **Antropogénicos:** Que se dividen a su vez en: **Antrópicos:** Aquellos que están provocados por las acciones o actividades humanas. **Tecnológicos:** Riesgos antrópicos que están derivados por el desarrollo tecnológico y la aplicación y uso significativo de tecnologías.



FIGURA. 2.1. Identificación de riesgos.

La identificación de riesgos ocurre cuando los integrantes del equipo y los principales involucrados en el proyecto emplean tablas de factores de riesgo y,



mediante una serie de discusiones abiertas, identifican y clasifican los riesgos. Los factores de riesgo se agrupan por área de atención y categoría.

"Una vez identificado el riesgo es necesario declararlo y para ello se necesita un formulario que consta de los siguientes puntos:

- Identificador del riesgo.
- Fuente del riesgo.
- Condición del riesgo.
- Probabilidad del riesgo.
- Clasificación del impacto del riesgo.
- Impacto del riesgo.
- Exposición al riesgo.
- Contexto del riesgo.
- Riesgos relacionados. " (2)

Una vez que los peligros son identificados, pueden evaluarse los riesgos que representan. Una evaluación de riesgo o análisis es el proceso mediante el cual se estiman la forma, dimensión y características de los riesgos.

2.2.2. ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgos es el segundo paso en el proceso de administración. En este paso los datos obtenidos en el punto anterior son convertidos a información que permitirán la toma de decisiones respectiva.

El análisis de riesgos sirve para:

- a) Identificar y evaluar los problemas ambientales y de salud producidos por la realización de actividades peligrosas y el manejo de sustancias tóxicas.
- b) Comparar tecnologías nuevas y tradicionales que se usan en la determinación de la efectividad de los diferentes controles y técnicas de mitigación diseñadas para reducir riesgos.
- c) Localización de instalaciones potencialmente peligrosas.
- d) Selección de prioridades entre las posibles alternativas de acción para establecer secuencias de ejecución de acciones correctivas y/o de elaboración de reglamentos ambientales.

"El análisis de riesgos tiene como objeto el estimar el nivel de peligro potencial de una actividad industrial para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales, en términos de cuantificar la magnitud del daño y de la probabilidad de ocurrencia. Los análisis de riesgos, por tanto, tratan de estudiar, evaluar, medir y



prevenir las fallas y las averías de los sistemas técnicos y de los procedimientos operativos que pueden iniciar y desencadenar sucesos no deseados (accidentes) que afecten a las personas, los bienes y el medio ambiente".⁽⁴⁾

En términos generales, el análisis de riesgos consta de los pasos siguientes:

- 1) Definir el ámbito de estudio.
- 2) Identificar y evaluar peligros.
- 3) Analizar y cuantificar riesgos.
- 4) Evaluar tolerancia.
- 5) Volver a configurar y mitigar donde sea necesario; volver a calcular el riesgo.
- 6) Revisar la tolerancia al riesgo (también llamada aceptabilidad); continuar la mitigación de ser necesario.

MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

"La mayoría de las evaluaciones de riesgos son cualitativas o semicuantitativas y un número más pequeño de ellas son cuantitativas. Los análisis cualitativos y semicuantitativos se consideran apropiados para propósitos de clasificación. Básicamente, existen dos tipos de métodos para la realización de análisis de riesgos, los métodos cualitativos y los semicuantitativos".^(b)

MÉTODOS CUALITATIVOS

Se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Pueden ser métodos comparativos y métodos generalizados.

Para este tipo de métodos, los factores que los analistas consideran son:

- Inventario de materiales peligrosos (cantidad máxima).
- Propiedades de materiales peligrosos (volatilidad, toxicidad, inflamabilidad).
- Condiciones de almacenamiento (temperatura, presión).
- Distribución de la población (densidad/distancia).

MÉTODOS COMPARATIVOS

Se basan en la utilización de técnicas obtenidas de la experiencia adquirida en equipos e instalaciones similares existentes, así como en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en establecimientos parecidos al que se analiza. Principalmente son cuatro métodos los existentes:⁽⁶⁾



MANUALES TÉCNICOS O CÓDIGOS Y NORMAS DE DISEÑO

Estos deben ser realizados considerando las normas y los códigos internacionales y nacionales de diseño. Deben ser de carácter técnico que especifiquen las características de diseño, instalación, operación y utilización de los equipos existentes en un determinado establecimiento; pero además, se deben realizar periódicamente auditorias de seguridad que permitan juzgar el estado de los materiales, procedimientos, operaciones, emergencias que se han establecido. ^(a)

Las normas y los códigos de diseño son elaboradas por organismos internacionales de reconocido prestigio en el campo de la normalización. A nivel mundial, la organización internacional más importante es la International Organization for Standardization, ISO.

En Europa, cada país ha establecido un sistema de normalización de carácter oficial o semioficial. Las más importantes son las siguientes:

- España: Asociación Española de Normalización y Certificación, AENOR. Elabora las normas UNE a partir de las ISO u otras.
- Alemania: Normas DIN. Normas VDI/VDE, Verein Deutscher Ingenieure.
- Reino Unido: British Standards, BS.

En Estados Unidos de América, existen varias organizaciones gubernamentales y privadas que se dedican a la elaboración de normas:

- American National Standards Institute, ANSI.
- American Society for Testing and Materials, ASTM.
- American Petroleum Institute, API.
- National Fire Protection Association, NFPA.
- American Society of Mechanical Engineers, ASME.

LISTAS DE COMPROBACIÓN O "SAFETY CHECK LISTS"

Se utilizan para determinar la adecuación de los equipos, procedimientos, materiales, etc. a un determinado procedimiento o reglamento establecido por la propia organización industrial basado en experiencia y en los códigos de diseño y operación. Se pueden aplicar en cualquier fase de un proyecto o modificación de la planta: diseño, construcción, puesta en marcha, operación y desmantelamiento. ^(b)



ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES

Consiste en el estudio de los accidentes registrados en el pasado en plantas similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza que los que estamos analizando. La principal ventaja radica en que se refiere a accidentes que ya han ocurrido, por lo que el establecimiento de hipótesis de posibles accidentes se basa en casos reales. ⁽³⁾

Se basa en diferentes tipos de informaciones:

- Bibliografía especializada.
- Bancos de datos informatizados de accidentes.
- Registro de accidentes/incidentes de la propia empresa.
- Informes de otros accidentes ocurridos.

ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS O PHA

Selecciona los productos peligrosos existentes y los equipos principales de la planta y revisa los puntos en los que se piensa que se pueda liberar energía de forma incontrolada en: materias, equipos de planta, componentes de sistemas, procesos, operaciones, instalaciones, equipos de seguridad, etc. Los resultados del análisis incluyen recomendaciones para reducir o eliminar estos peligros, siempre de forma cualitativa.

MÉTODOS GENERALIZADOS

Los métodos generalizados de análisis de riesgos, se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados desde el punto de vista lógico-deductivo que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallas, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, operaciones, etc. que trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos. ⁽⁶⁾

Existen varios métodos generalizados. Los más importantes son:

ANÁLISIS "WHAT IF...?" (¿Qué pasa...sí?)

Consiste en el planteamiento de las posibles desviaciones en el diseño, construcción, modificaciones y operación de una determinada instalación industrial, utilizando la pregunta que da origen al nombre del procedimiento: "¿Qué pasaría si...?".



Se puede aplicar a cualquier instalación o área o proceso: instrumentación de un equipo, seguridad eléctrica, protección contra incendios, almacenamientos, sustancias peligrosas, etc. Las preguntas se formulan y aplican tanto a proyectos como a plantas en operación, siendo muy común ante cambios en instalaciones ya existentes.

ANÁLISIS DE PELIGRO Y OPERABILIDAD, HazOp

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

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS, FTA

Es una metodología que se puede aplicar a sucesos relativamente complejos para los cuales intervienen muchos elementos y que se pueden descomponer en sucesos más sencillos. Requiere de uno o dos analistas con amplia experiencia y conocimiento del sistema a analizar, frecuentes consultas a técnicos, operadores y personal experimentado en el funcionamiento del sistema y la documentación necesaria (diagramas de flujos, instrumentación, tuberías, junto con procedimientos de operación/mantenimiento).⁽³⁾

La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de las fallas básicas de los elementos que intervienen en él. Una parte importante del análisis FTA es la identificación de las agrupaciones de sucesos que pueden dar origen al evento culminante. Estas agrupaciones se denominan conjuntos de separación, los conjuntos de separación identificados pueden manipularse con el fin de simplificarlos, reduciéndolos a una serie equivalente con un número menor de conjuntos que se denominan conjuntos mínimos. Un conjunto mínimo es aquel que no contiene otros conjuntos.

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE EVENTOS, ETA

La técnica de análisis por árboles de sucesos consiste en evaluar las consecuencias de posibles accidentes resultantes de la falla específica de un sistema, equipo, suceso o error humano, considerándose como sucesos iniciadores y/o sucesos o sistemas intermedios de mitigación, desde el punto de vista de la atenuación de las consecuencias. Las conclusiones de los árboles de sucesos son consecuencias de accidentes, es decir, conjunto de sucesos cronológicos de fallas o errores que definen un determinado accidente. ^(a)

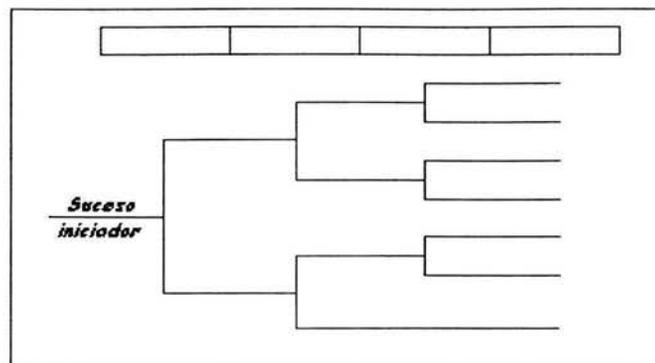


FIGURA. 2.2. Diagrama del árbol de sucesos.

ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE LAS FALLAS, FMEA

El método consiste en la elaboración de tablas o listas con las posibles fallas de componentes individuales, los modos de falla, la detección y los efectos de cada falla.

Las fallas que se pueden considerar son típicamente situaciones de anomalía tales como:

- Abierto, cuando normalmente debería estar cerrado.
- Cerrado, cuando normalmente debería estar abierto.
- Marcha, cuando normalmente debería estar parado.
- Fugas, cuando normalmente deba ser hermético.

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

MÉTODOS SEMICUANTITATIVOS

Estos métodos son los que introducen una valoración cuantitativa respecto a las frecuencias de ocurrencia de un determinado suceso y se denominan métodos para la



determinación de frecuencias, o bien se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una serie de índices que cuantifican daños: índices de riesgo. ⁽⁶⁾

Pero se entiende también como métodos semicuantitativos, aquellos que, no llegando al detalle y rigor de una evaluación cuantitativa del riesgo, suponen un avance hacia ello.

Los índices de riesgo son métodos de evaluación de peligros semicuantitativos directos y relativamente simples. No se utilizan para estimar riesgos individuales, sino que proporcionan valores numéricos que permiten identificar áreas o instalaciones de un establecimiento industrial en las que existe un riesgo potencial y valora su nivel de riesgo. Sobre estas áreas o instalaciones, puede realizarse posteriormente un análisis más detallado del riesgo mediante otros métodos generalizados.

Los métodos desarrollados de mayor difusión a nivel internacional son dos:

- 1) Índice Dow de incendio y explosión
- 2) Índice Mond

ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

Es un método desarrollado inicialmente por la compañía Dow Chemical en los años 60 con la denominación de Dow's Fire & Explosion Index que se ha ido perfeccionando con los años en ediciones sucesivas incorporando nuevos procesos de análisis. ^(c)

El método se desarrolla siguiendo una serie de etapas y estas son:

- Dividir la planta en estudio en unidades de proceso para las que se determina su índice de incendio y explosión (IIE).
- Determinar un factor material (FM) para cada unidad de proceso.
- Evaluar los factores de riesgo, considerando las condiciones generales de proceso (reacciones, transporte, accesos, etc.), denominadas F1, y los riesgos específicos del proceso (producto peligroso), denominados F2.
- Calcular un factor de riesgo, F3, y un factor de daño, FD, para cada unidad de proceso.
- Determinar los índices de incendio y explosión (IIE), y el área de exposición, (AE), para cada unidad de proceso seleccionada.
- Calcular el valor de sustitución (VS), del equipo en el área de exposición.



- Calcular el daño máximo probable a la propiedad, MPPD (Maximum probable property damage), tanto básico como real, por consideración de los factores de bonificación, FB y FBE.
- Determinar los máximos días de interrupción, MPDO (Maximum probable days outage), y los costos por paralización de la actividad, BI (Business interruption), en estos días.

ÍNDICE MOND

Método desarrollado inicialmente en la Imperial Chemical Industries PLC (ICI) a partir del índice de Dow. La principal diferencia con el anterior es que el índice Mond introduce la toxicidad de las sustancias presentes, y este parámetro se introduce como factor independiente, considerando los efectos de las sustancias tóxicas por contacto cutáneo, inhalación o ingestión. ^(c)

Naturalmente, este método se seleccionará siempre que en la instalación se presenten sustancias tóxicas en cantidades apreciables.

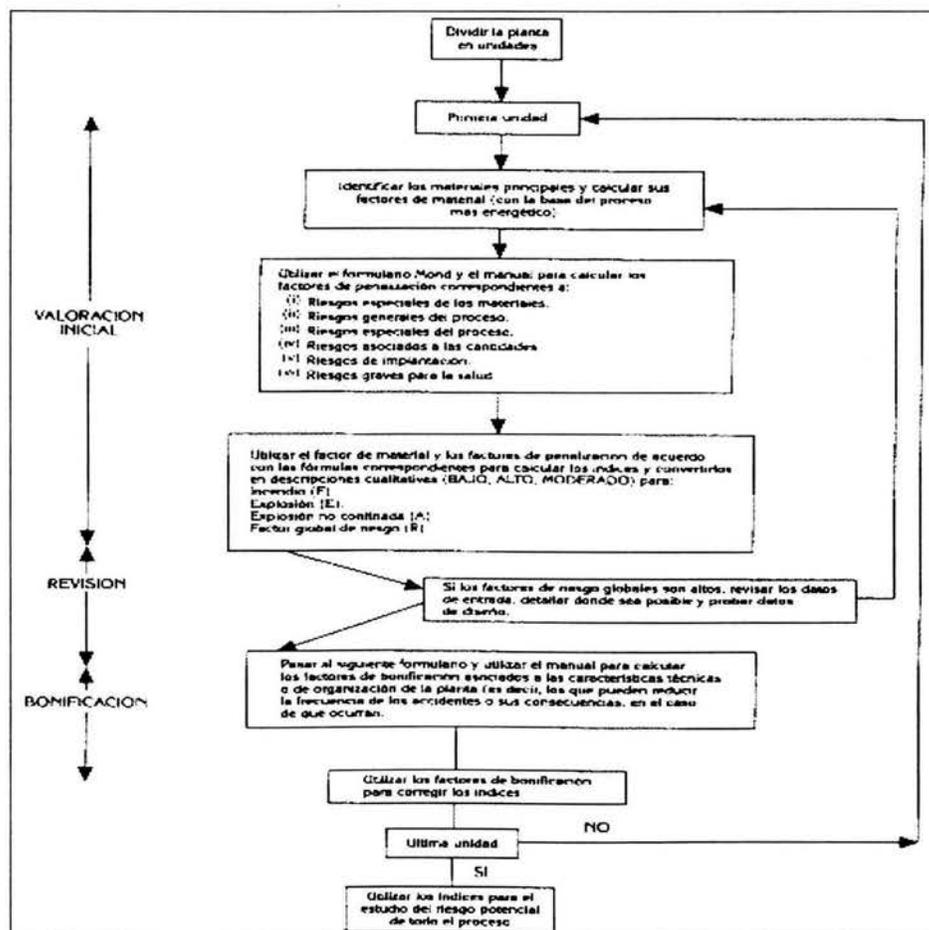


Figura. 2.3. Diagrama descriptivo del Índice de MOND.



TABLA. 2.2. Resumen de métodos y características para la identificación de riesgos.

Método	Ambito de aplicación	Recursos humanos/materiales	Sopapartes informaticos	Ventajas	Inconvenientes
Análisis histórico de accidentes	Identificación de accidentes. En algún caso proporciona orientación cuantitativa de la probabilidad. Util para productos e instalaciones de amplia difusión.	Consulta banco de datos. Recogida de información: publicaciones, revistas especializadas, informes industriales, informes oficiales.	OSIRIS-1, OSIRIS-2, FACTS, SONATA, MARS.	Técnica poco costosa.	A menudo los datos de accidentes son insuficientes.
Check list	Aplicable a todas las fases de un proyecto: diseño, construcción, puesta en marcha, operación y paradas y analizar.	La preparación ha de ser realizada por personas de gran experiencia. Es preciso disponer de las normas o estándares de referencia. Buen conocimiento del sistema o planta. La realización no requiere gran experiencia pero si el análisis de los resultados.	Formato recogido de los datos	Permite comprobar con detalle el estado de una instalación	Verificar el cumplimiento de un reglamento o procedimiento para una instalación.
Análisis preliminar de riesgos	Se utiliza en fase de diseño preliminar de nuevas instalaciones.	Se debe disponer de: diseño básico, especificaciones de equipos, especificaciones de materiales.	-	Técnica poco costosa.	No adecuado para instalaciones existentes.
What if...?	Aplicable a modificaciones o instalaciones existentes.	Se debe disponer de: diseño detallado, datos de operación/mantenimiento, conocimiento profundo de la instalación.	-	-	Técnica más general que el HAZOP. No tiene una sistemática tan exhaustiva. Técnica que requiere inversión de tiempo por el equipo
HAZOP	Aplicable a modificaciones o instalaciones existentes, así como a fase de diseño avanzado.	Se debe disponer de: diseño detallado, datos de operación/mantenimiento, conocimiento profundo de la instalación, equipo.	Códigos informáticos de registro de las sesiones, recomendaciones, etc. (HAZ-SEC, HAZTRAC, HAZOP, etc.)	-	Técnica que requiere una mayor inversión de tiempo. Análisis muy exhaustivo de la instalación.

TABLA. 2.2. Resumen de métodos y características para la identificación de riesgos (continuación).

Método	Ambito de aplicación	Recursos humanos/materiales	Sopapartes informaticos	Ventajas	Inconvenientes
FMEA	Aplicable en fases de: diseño, construcción, operación, previo a árboles de fallos.	Información necesaria similar a What if ? Y HAZOP.	-	Métodos menos costosos que HAZOP.	Menos exhaustivo.
FMEAC	Idem FMEA.	Idem FMEA.	-	Incluye una valoración cualitativa de la gravedad.	-
Indice DOW	Evaluación semicuantitativa de riesgo. Aplicable para la clasificación previa de áreas en instalaciones con varias unidades (refinerías, complejos petroquímicos).	Se debe disponer de: planos de implantación, diagramas de flujo, diagramas de tubería e instrumentación, guía de cálculo.	Códigos informaticos facilitan la labor de evaluación (INDICES, etc.)	Permite una clasificación previa del área y unidades.	La precisión de los resultados obtenidos con fines de identificación de riesgos es muy poca.
Indice AOND	Idem Indice DOW.	Lo mismo que Indice Dow. Comparativamente utiliza menos recursos gráficos.	-	Idem que Indice DOW. Tiene en cuenta la toxicidad de los productos.	Idem que Indice Dow.
Revisión auditoría de seguridad	Puede tener objetivos muy variados. Generalmente se enfoca bajo una óptica monográfica: cumplimiento de normativa o legislación, revisión de procedimientos, gestión de seguridad, control de pérdidas.	Se debe disponer de: normas internas de instalaciones, procedimiento de operación, procedimientos de emergencia, documentación de equipos, permisos de trabajo, etc.	-	Idem que Indice DOW. Tiene en cuenta la toxicidad de los productos. Permite analizar las instalaciones o la organización con gran detalle.	El enfoque únicamente un aspecto (normativa, legislación, etc.).



MÉTODOS CUANTITATIVOS

Los análisis cuantitativos de riesgos son intensivos por naturaleza, se utilizan dentro del marco de un programa de evaluación mayor de peligros y riesgos para proporcionar estimaciones detalladas de equipo o instalaciones que han sido identificadas como que requieren este nivel de análisis. ⁽⁶⁾

Los elementos básicos de una evaluación cuantitativa de riesgos son la identificación del peligro, cuantificación a través del análisis de consecuencias y estimación de probabilidades o frecuencias y la determinación y reporte de los riesgos.

El análisis cuantitativo de riesgos ayuda a los analistas y gerentes a determinar la importancia relativa de cada uno de un número de eventos indeseables, permitiendo a las compañías tomar decisiones en cuanto al enfoque de esfuerzos de reducción de riesgos donde sean más efectivos.

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

"Se entiende por análisis de consecuencias la evaluación cuantitativa de la evolución espacial y temporal de las variables físicas representativas de los **fenómenos peligrosos** en los que intervienen sustancias peligrosas, y sus posibles efectos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes, con el fin de estimar la naturaleza y magnitud del daño, además, busca determinar la magnitud de las consecuencias del incidente peligroso, en ocasiones llamado un evento episódico, esto es, un acontecimiento que por lo general ocurre sin advertencia, durante un periodo corto." ⁽⁶⁾

Los análisis de consecuencias deben estudiar los diferentes tipos de accidentes potenciales en establecimientos industriales que pueden producir fenómenos peligrosos para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales. Estos tipos de accidentes potenciales se seleccionan a partir de un correcto análisis e identificación de riesgos. Estos son los siguientes:

- Fugas o derrames incontrolados de sustancias peligrosas: líquidos o gases en depósitos y conducciones.
- Evaporación de líquidos derramados.
- Dispersión de nubes de gases, vapores y aerosoles.
- Incendios de charco o "Pool fire".
- Dardos de fuego o "Jet fire".
- Deflagraciones no confinadas de nubes de gases inflamables o "UVCE".
- Estallido de depósitos o "BLEVE", por vaporización de un líquido en ebullición.



- Explosiones físicas y/o químicas.
- Vertido accidental al medio ambiente de sustancias contaminantes, procedente de fugas o derrames incontrolados.

2.2.3. PLANIFICACIÓN DE ACCIONES

Una vez realizado el análisis de riesgos, es necesario convertir la información obtenida del riesgo en decisiones y acciones. La planificación, tercer paso en la administración de riesgos, implica desarrollar acciones para enfrentar los riesgos individuales, establecer prioridades, y crear un plan integrado de administración de riesgos. Las siguientes son las cuatro áreas fundamentales que el equipo debe abordar durante la planificación de acciones para riesgos:

- *Investigación.*
- *Aceptación.*
- *Administración.*
- *Prevención.*

2.2.4. SEGUIMIENTO DE RIESGOS

El seguimiento es el cuarto paso en el proceso de administración de riesgos. Durante esta fase, el equipo vigila el estado de los riesgos y las acciones que ha aplicado para atenuarlos. El seguimiento de los riesgos es esencial para la implementación de un plan de acciones eficaz. ^(b)

2.2.5. CONTROL DE RIESGOS

El control de riesgos es el último paso en el proceso de administración. Una vez que el equipo ha seleccionado las unidades de medición del riesgo y los eventos de activación, se debe combinar con los procesos de administración de un proyecto para controlar los planes de acciones, corregir las variaciones de los planes, responder a los eventos de activación, y mejorar el proceso de administración de riesgos.

La administración de riesgos depende de los procesos de administración del proyecto para:

- a) Controlar los planes de acciones para riesgos.
- b) Corregir las variaciones de los planes.
- c) Responder a los eventos de activación.
- d) Mejorar el proceso de administración de riesgos.



"Si el proceso de administración de riesgos no está integrado con la administración diaria del proyecto, pronto quedará relegado a una actividad secundaria." ⁽¹⁾

2.3. GENERALIDADES

La Refinación es el proceso mediante el cual se separan los distintos componentes del petróleo: combustibles, aceites, asfaltos, etc., para facilitar su comercialización. El primer paso para la separación de dichos compuestos, es la destilación fraccionada. ^(d)

Ya que la ciencia central nos ayuda a modificar a voluntad el arreglo atómico en los compuestos, su acción puede utilizarse para transformar hidrocarburos de bajo octanaje en otros con alto índice de octano*. Así la participación de la química en las refinerías ha resuelto dos problemas graves:

- a) que la gasolina natural que se obtiene por destilación sólo alcanza un octanaje cercano a 50 y no puede utilizarse tal cual, para los motores de combustión interna;
- b) que la gasolina natural sólo constituye de 20 a 30% del petróleo crudo y esa cantidad es insuficiente para satisfacer la demanda.

Por lo menos, son tres los tipos de reacciones químicas que ayudan a obtener artificialmente más y mejor gasolina:

Desintegración térmica y catalítica: Mediante este proceso se rompen los hidrocarburos de cadenas muy largas en dos o más que cuentan con cinco a nueve carbonos, los cuales sirven como gasolinas. La desintegración térmica logra este efecto gracias a la elevación de la temperatura. Sin embargo, la presencia de un catalizador (acelerador de reacciones) puede servir para lograr el mismo efecto a bajas temperaturas y presiones. ^(d)

Reformación: La reformación es otro proceso catalítico que transforma un isómero lineal en uno ramificado o en uno aromático, mediante el cual se logra aumentar el octanaje de la gasolina. ^(d)

Alquilación: Dentro de la refinación de petróleo se encuentran varios procesos para la producción de gasolina, sin aditivos contaminantes uno de los cuales es el de alquilación; este proceso es exotérmico y se lleva a cabo en escala comercial con dos catalizadores: ácido fluorhídrico o ácido sulfúrico. ^(d)

* El número de octano se define como el porcentaje en volumen de isooctano que debe ser mezclado con n-heptano para ajustar la intensidad de la detonación de una gasolina al valor requerido durante una prueba.

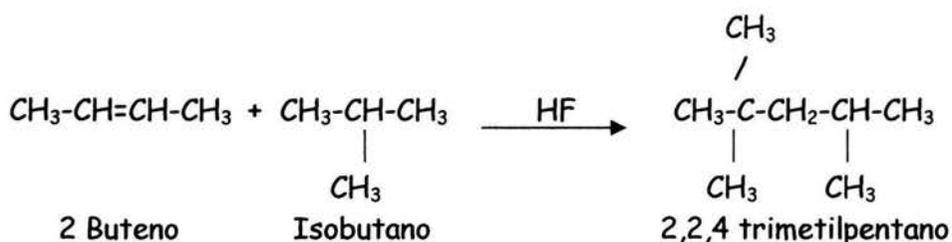


La alquilación es un proceso de síntesis química que consiste en la reacción de olefinas ligeras con hidrocarburos saturados dando lugar a hidrocarburos saturados de cadena ramificada con alto índice de octano. Es considerada como un proceso catalítico que requiere un catalizador de naturaleza ácida fuerte, como el ácido fluorhídrico (HF) o el ácido sulfúrico (H₂SO₄), esto produce moléculas ramificadas en la zona de ebullición de la gasolina con mejores propiedades. Este proceso también es útil para que las gasolinas no se evaporen fácilmente. ^(e)

En el proceso de alquilación se lleva a cabo la unión de una olefina con un hidrocarburo aromático o parafínico. La reacción de alquilación involucra la adición de un protón H⁺, a un doble enlace de una olefina para formar un carbocatión. El catalizador debe ser de tipo ácido para favorecer la formación de cationes.

En la terminología de la refinación del petróleo el término alquilación se emplea para la reacción de olefinas de bajo peso molecular con una isoparafina para dar isoparafinas de mayor peso molecular.

Así, por ejemplo, se forma 2,2,4-trimetilpentano ("isooctano") a partir de isobuteno e isobutano. Las principales reacciones que tienen lugar en la alquilación son la combinación de las olefinas con las isoparafinas como se muestra a continuación:



El isooctano (También llamado 2,2,4-trimetilpentano) es una isomería estructural del octano, compuesto de 8 átomos de carbono y 18 átomos de hidrógeno unidos por enlaces sencillos. La fórmula del isooctano es:



La alquilación ayuda a mejorar el octanaje, por medio de la reacción entre la olefina y la isoparafina en presencia del catalizador HF. Ayuda a cumplir uno de los principales objetivos de las refinerías de petróleo al elevar el octanaje, ya que, la gasolina ligera tiene un valor muy bajo para ser empleada en motores de alta compresión. ⁵⁾

El número de octano de un combustible es simplemente una descripción numérica de su capacidad para resistir el "golpeteo" de la máquina. Cuando los vapores



de la gasolina sin combustión explotan espontáneamente en el cilindro, antes de que los alcance la flama en expansión dentro del cilindro de combustión, se provocan dos explosiones simultáneas (la otra es de la bujía de encendido). Este fenómeno produce el golpeteo. Cuanto mayor sea el número de octano (o índice antidetonante, para ser más exactos) mayor será la resistencia del combustible al golpeo de la máquina. ^{f)}

El 2,2,4-trimetilpentano (isooctano), tiene gran poder antidetonante, es decir que resiste compresiones elevadas sin detonar y se le asigna, convencionalmente, el 10 = 100.

La alquilación y el alquilado ofrecen varias ventajas:

- El alquilado tiene una mayor calidad de octano tanto al igual que todas las familias de gasolinas mezcladas.
- La alquilación incrementa la cantidad de gasolina que puede ser producida por barril de crudo.
- La presión de vapor del alquilado producido es más baja.
- El alquilado tiene un alto calor de combustión que permite la utilización de una relación alta de compresión en los motores.

2.3.1. PROCESO DE ALQUILACIÓN ⁽⁵⁾

El proceso de alquilación con ácido fluorhídrico, es aquel en el cual se combinan olefinas tales como propeno, butano o pentenos con isobutano en presencia de ácido fluorhídrico como catalizador para generar un producto en el rango de ebullición de la gasolina. El alquilado producido en esta unidad se empleará como un componente en el mezclado para obtener combustible de motores de alta calidad.

Las olefinas que se utilizan en el proceso de alquilación se obtienen comúnmente por medio de dos fuentes principales, una de ellas es de las plantas de craqueo catalítico (FCC) y la otra de la planta de metil terbutil éter (MTBE), uniéndose las dos corrientes que provienen de ellas para alimentar la planta de alquilación.

La corriente que proviene de la planta de MTBE se somete a un tratamiento previo antes de entrar a la planta de alquilación, y este se lleva a cabo en la sección Hydrisom® de Phillips que se encuentra también en la misma unidad, este tratamiento es para eliminar la humedad de la carga.

La unidad Hydrisom® de Phillips, trata la corriente de alimentación de olefina (compuesta principalmente de mezcla de butenos y butanos) para mejorar la calidad de esta corriente de la siguiente manera:



El butadieno es convertido a butano, debido a que contribuye a la formación de aceite soluble en ácido (ASA). Posteriormente el 1-buteno se isomeriza a 2-buteno ya que el segundo compuesto origina un producto alquilado aproximadamente 3 números de octano mayor que el producido por el 1-buteno. Además, de las reacciones mencionadas, algo de 2-buteno es también convertido a n-butano, pero se debe procurar que se reduzca al mínimo.

Con lo que respecta a la alimentación que proviene de las plantas de craqueo catalítico (FCC), es enviada a través de los secadores, previo a la alquilación de las olefinas; pero si la unidad Hydrisom® es bypaseada, la alimentación de olefina deberá contener no más de 20 ppm de azufre total, saturado con agua, 0.010 de porcentaje en volumen de líquido de etano y componentes ligeros, 3000 ppm de butadieno ó 35 ppm de oxigenados.

Una vez listas las corrientes provenientes de la FCC y la MTBE, la mezcla olefina e isobutano externo fluye hacia la Tee de mezclado donde se combina con el isobutano de recirculación proveniente de la torre fraccionadora principal. La corriente combinada es la alimentación* total de hidrocarburo hacia los reactores. La relación en volumen de isobutano a contenido de olefina en este punto será aproximadamente de 12 a 1.

Una vez homogeneizada la carga se introduce al sistema del reactor** en donde se pone en contacto con el ácido fluorhídrico (HF). La alimentación de hidrocarburo entra al reactor a través de los tubos de dispersión y las espreas, y se mezcla con el ácido de los enfriadores. Cuando la mezcla de olefinas e isobutano entra en contacto con el ácido, tiene lugar una reacción instantánea. Dicha reacción es exotérmica, por lo cual por medio de agua de enfriamiento se controla la temperatura.

El contenido total del reactor permanece mezclado mientras fluye hacia el asentador de ácido debido a la velocidad a través de los reactores. A condiciones de diseño el tiempo de residencia del hidrocarburo en los reactores es aproximadamente 20seg. Una vez que ha entrado al asentador, la mezcla HF-hidrocarburo se separa en dos fases, la fase inferior es ácido HF el cual fluye de retorno hacia los enfriadores de ácido, mientras que la fase superior es hidrocarburo el cual es bombeado al sistema de fraccionamiento.

* Una alimentación satisfactoria de hidrocarburo al reactor de la unidad de alquilación HF debe contener un máximo de 20 ppm de azufre total, 20 ppm de agua y 0.008% en VL de etano y componentes ligeros, 2250 ppm de butadieno y 25 ppm de oxigenados. El porcentaje en volumen líquido de C6+ nunca deberá exceder 0.10% en volumen líquido.

** El sistema del reactor involucra el asentador de ácido, bajantes de ácido, enfriadores de ácido y tubos reactores.



La fase de hidrocarburo obtenida en el asentador de ácido es la corriente de alquilado acompañada por propano, isobutano, butano y trazas de HF; esta corriente es introducida a la fraccionadora principal por las bombas de alimentación a la fraccionadora, el sistema de fraccionamiento separa el efluente del asentador en varios componentes, es decir, propano, isobutano de recirculación, butano y alquilado. Una corriente de alquilado como producto es enfriado y es enviado como flushing al sello mecánico de las bombas de alimentación a la fraccionadora principal, el resto es utilizado como medio de calentamiento antes de ser bombeado y mandado a almacenamiento.

El calor necesario al fondo de la fraccionadora principal será proporcionado por el horno rehervidor. Este a fuego directo puede quemar gas combustible o combustóleo. La temperatura del fondo de la torre debe ser mantenida arriba de 190°C para asegurar una buena defluorinación térmica de alquilado. Ya que la unidad está en recirculación, el flujo de carga al rehervidor debe ser ajustado al diseño de cada serpentín y no ser cambiado.

Los vapores que vienen desde arriba del plato 10 de la fraccionadora principal entra al fondo del rectificador de butano, que contiene un condensador enfriado por agua localizado en la sección superior de la torre para condensar parte de los vapores de butano que vienen del rectificador y así proporcionar un reflujo interno, por otra parte, el líquido de reflujo desde el fondo del rectificador retorna al plato 9 de la fraccionadora principal, a través de un circuito de sello. La corriente de butano que sale, se manda a una sección de tratamiento para posteriormente enviarlo a almacenamiento.

La extracción de isobutano de recirculación está localizada entre el plato 78 y 79. El isobutano de recirculación es extraído como líquido de la fraccionadora principal. Desde el plato de extracción de isobutano de recirculación, este pasa a través del lado de la coraza del cambiador de alimentación a la fraccionadora principal. Después del enfriamiento, esta corriente se recircula hacia la Tee de mezclado y hacia el reactor, una corriente pequeña de IC₄ caliente fluye hacia la columna regeneradora y es calentada en el calentador de isobutano agotador. Otra corriente pequeña de IC₄ enfriado fluye hacia la columna regeneradora para reflujo y hacia la bomba de alimentación de la columna rectificadora para lavar el sello de las bombas.

La corriente que sale del domo de la fraccionadora (compuesta por propano y HF) es enviada al acumulador de la fraccionadora principal el que esta equipado con una bota de ácido en el fondo del recipiente y un absorbedor de gas de venteo en la parte superior. Dos niveles de líquidos se mantienen en el acumulador, con hidrocarburo como la fase superior y con ácido fluorhídrico como la fase inferior. Es



importante que el nivel de ácido siempre sea mantenido por debajo de 150mm de la succión elevada de la bomba de reflujo para prevenir alimentar ácido fluorhídrico al agotador de propano.

Una vez que se separan las fases en el acumulador, el nivel superior compuesto por propano y trazas de HF, es bombeado al agotador de HF, esta torre tiene forma de botella con la sección superior empacada con anillos rashig de carbón de 19mm. La alimentación a la torre sirve como reflujo de la fraccionadora y será aproximadamente una y media veces el volumen de propano producido desde el fondo de la torre. Debido a que el contenido de propano en la alimentación es bajo, el propano es recirculado hacia el asentador; el exceso de propano es enviado hacia los defluorinadores de C_3 para su tratamiento.

Cuando la alimentación de olefina se corta y la unidad es puesta en operación de recirculación, es conveniente bloquear la línea de propano hacia los defluorinadores y recircular el propano únicamente. Esto debe ser hecho al mismo tiempo que se corta la alimentación de olefina.

Con lo que respecta al sistema de regeneración de ácido HF, una bomba toma succión del fondo de los enfriadores de ácido, la bomba de alimentación a la regeneradora de ácido, es usada para alimentar HF al sistema de rectificación. El sello mecánico para esta bomba requiere una fuente de líquido de lavado de sello limpio para protección de los sellos. Isobutano de recirculación enfriado es utilizado en este servicio de lavado.

La columna regeneradora está funcionalmente dividida en tres secciones. La sección del fondo contiene seis platos de agotamiento. La sección central sirve como sección de vaporización súbita. La sección superior sirve como sección de reflujo. El fondo de la columna también sirve como un acumulador de aceite soluble ácido (ASA).

El flujo de alimentación de ácido hacia la columna de rectificación esta controlada por un controlador de flujo, actuando una válvula de control en la línea de alimentación corriente arriba del vaporizador de ácido, que es un cambiador de tubos y coraza con un haz de tubos en "U" de seis pasos de Monel. La temperatura del ácido desde el sobrecalentador de ácido está controlada normalmente entre 135°C y 149°C.

Corrientes pequeñas de isobutano de recirculación son utilizadas para el reflujo y agotamiento. Aproximadamente 98.5% de VL de la alimentación hacia la columna rectificadora es evaporizada súbitamente hacia el domo. Estos vapores entran en contacto con el isobutano de reflujo para remover las gotas estancadas de aceite. Los vapores (HF e isobutano) son enviados hacia el asentador a través del anillo de distribución localizado arriba del segundo plato rasurado.



La porción de la alimentación que no es vaporizada cae dentro de la sección de agotamiento, donde el HF remanente es agotado por los vapores sobrecalentados de isobutano de agotamiento entrando justo debajo del baffie del fondo. El ASA agotado se acumula en el fondo de la columna.

El aceite soluble ácido (ASA) es enviado hacia el lavador cáustico de ácido, el ASA será lavada con sosa cáustica para neutralizar el HF residual que permanezca en el aceite. La bomba de circulación de sosa cáustica de lavado de ASA circulará la solución cáustica diluida continuamente. Esta solución circulante debe ser calentada o enfriada tal que la temperatura en el lavador de ASA sea alrededor de 66°C. La reposición de sosa cáustica vendrá desde un tanque de almacenamiento y debe ser del 5% en peso menor. La sosa cáustica debe ser descargada hacia el basin de mezcla de sosa agotada cuando la concentración antes mencionada disminuye a cerca del 0.5% en peso.

El ASA desde la columna regeneradora se mezcla con la sosa cáustica circulante en el mezclador ASA-cáustico. La mezcla entra entonces al lavado cáustico de ácido. La sosa cáustica se asienta en el fondo, y el ASA, después de haber estado en contacto con está "flota" en la parte superior de la fase cáustica más pesada. El aceite es entonces bombeado hacia el horno rehervidor de la fraccionadora principal. Una línea de recirculación, un calentador interno, y un calentador de tanque amortiguador de ASA, se proporcionan para mantener tibio el aceite en un clima frío.

2.3.2. SECCIÓN DE TRATAMIENTO DE PRODUCTOS

El procedimiento para el tratamiento tanto del propano como butano son similares, en ambos se utilizan defluorinadores de la siguiente manera:

El propano desde el fondo de la torre agotadora de propano es vaporizado con alquilado, mientras que el butano proveniente del rectificador de butano es sobrecalentado a 204°C con alquilado que pasa a través del lado de la coraza del calentador de alimentación al defluorinador. Ambas salidas de los calentadores tienen instalado un controlador de temperatura el cual controla el flujo de alquilado caliente corriente abajo del vaporizador.

Tanto los vapores sobrecalentados de propano y butano pasan a través de los tratadores en serie fluyendo por la parte superior y saliendo por el fondo (los defluorinadores de propano y butano son recipientes verticales, llenados con alúmina activada). El primer recipiente en línea de flujo se refiere como el tratador primario y el segundo como el tratador secundario. Los dos recipientes están arreglados de tal forma que cada recipiente pueda operar en cualquier posición. El efluente desde el tratador secundario pasa a través del cambiador de alimentación de propano o butano



al defluorinador/efluente con lo que respecta al propano antes de entrar al tratador de KOH este pasa a través del condensador de propano para ser enfriado, mientras que el butano pasa directamente al tratador.

Los tratadores han sido instalados para disminuir el contenido de fluoruros orgánicos del propano producto o butano producto a un nivel de 0 a 10 ppm. Cada tratador se llena con alúmina activada de 4-8 mallas, el cual es un agente defluorinante. Cuando el propano o butano caliente hace contacto con la alúmina activada, los fluoruros orgánicos se descomponen en olefinas y ácido fluorhídrico. El ácido fluorhídrico reacciona entonces con la alúmina activada para formar fluoruro de aluminio y agua. Los vapores de agua pasan a lo largo del defluorinador con el hidrocarburo caliente. La reacción de defluorinación tiene lugar en el tratador primario. El tratador secundario actúa como guardia, listo para operar cuando el tratador primario está agotado y deba ser descargado.

Los tratadores removerán el HF libre y los fluoruros orgánicos hasta en un 40% en peso de la carga de alúmina activada. Muestras de la alimentación y el efluente del tratador primario deben ser revisadas dos veces por semana por análisis de laboratorio para determinar HF libre y fluoruros orgánicos; cuando estos fluoruros desde el tratador primario alcanzan un nivel de 35 a 50 ppm, el tratador debe ser removido del proceso y descargado. El HF libre estará en el rango de 0 a 50 ppm, en ese momento.

Los tratadores de KOH son recipientes verticales llenados con hojuelas cáusticas, con un ensayo de sólidos de aproximadamente 92% de KOH, el propano y el butano fluyen hacia arriba a través de la cama cáustica. Conforme el HF reacciona con el KOH se forma fluoruro de potasio y agua. El agua disuelve el hidróxido de potasio y el fluoruro de potasio formando un lodo espeso que cae hacia el fondo del tratador. Este lodo debe ser extraído alrededor de dos veces por turno para prevenir el taponamiento de la boquilla del fondo de extracción.

Con el propósito de mantener una contrapresión constante en el tratador cáustico y mantener tanto al butano como propano sin vaporización, existe un controlador de presión que activa una válvula de control en la línea de butano y propano corriente debajo de las bombas de propano y butano producto, y finalmente ser enviados a almacenamiento.



CAPÍTULO III

TRABAJO EN CAMPO



3. TRABAJO EN CAMPO

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

Todas las técnicas de evaluación de riesgos comparten la meta de identificarlos de manera sistemática y proporcionar un análisis preliminar, por lo general cuantitativo, de su significado relativo en términos de posibilidad y consecuencias.

Si bien cada técnica varía en términos de datos específicos que necesitan recopilarse y en términos del tipo de análisis que proporciona, todos trabajan partiendo de una base general similar de información, incluyendo puntos como:

- a) Como funciona la planta o el sistema.
- b) Planos y procedimientos del proceso detallados.
- c) Modos de fallas del equipo y sus efectos resultantes.
- d) Factores que contribuyen al error humano.

3.1. ANÁLISIS HAZOP

El método nació en 1963 en la compañía ICI (*Imperial Chemical Industries*), en una época en que se aplicaba en otras áreas las técnicas de análisis crítico. Estas técnicas consistían en un análisis sistematizado de un problema a través del planteamiento y respuestas a una serie de preguntas (¿cómo?, ¿cuándo?, ¿por qué?, ¿quién?, etc.) El método se formalizó posteriormente y ha sido hasta ahora ampliamente utilizado en el campo químico como una técnica particularmente apropiada a la identificación de riesgos en una instalación industrial.

La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de las desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de palabras guías. Estas se aplican a parámetros relevantes del proceso, tales como; flujo, temperatura, presión, composición, etc., para identificar las causas y consecuencias de estos parámetros al ser desviados de sus valores normales. Finalmente, la identificación de las consecuencias inaceptables, resulta en recomendaciones para mejorar el proceso. Estas pueden indicar modificaciones en el diseño, requerimientos en los procedimientos operativos, modificaciones en la documentación, mayor investigación, etc.



METODOLOGÍA

Básicamente, el procedimiento del HazOp, implica tener una descripción y documentación completa de la planta y sistemáticamente cuestionar cada parte. El método descompone las operaciones industriales en operaciones simples a base de dividir el proceso en nodos donde se estudiarán sistemáticamente los parámetros en busca de desviaciones. Unos ejemplos de nodos pueden ser: tubería de alimentación de una materia prima o impulsión de una bomba. Los criterios para seleccionar los nodos tomarán básicamente en consideración los puntos del proceso en los cuales se produzca una variación significativa de alguna de las variables de proceso. Para cada nodo se planteará de forma sistemática las desviaciones de las variables de proceso aplicando a cada variable una palabra guía. Estas palabras guías se dividen en dos clases:

Palabras primarias que enfocan la atención en un aspecto particular del intento de diseño o una condición o parámetro asociado con el proceso. Estas reflejan tanto el propósito, como aspectos operacionales de la planta bajo estudio. Palabras típicas se describen en la tabla 3.1.

TABLA. 3.1. Palabras secundarias.

Palabra guía	Significado	Ejemplo de desviación	Ejemplo de causas originadoras
NO	Ausencia de la variable a la cual se aplica	No hay flujo en una línea	Bloqueo; fallo de bombeo; válvula cerrada o atascada; fuga; válvula abierta; fallo de control
MÁS	Aumento cuantitativo de una variable	Más flujo (más caudal)	Presión de descarga reducida; succión presurizada; controlador saturado; fuga; lectura errónea de instrumentos
		Más temperatura	Fuegos exteriores; bloqueo; puntos calientes; explosión en reactor; reacción descontrolada
MENOS	Disminución cuantitativa de una variable	Menos caudal	Fallo de bombeo; fuga; bloqueo parcial; sedimentos en línea; falta de carga; bloqueo de válvulas
		Menos temperatura	Pérdidas de calor; vaporización; venteo bloqueado; fallo de sellado
INVERSO	Analiza la inversión en el sentido de la variable. Se obtiene el efecto contrario al que se pretende	Flujo inverso	Fallo de bomba; sifón hacia atrás; inversión de bombeo; válvula antirretorno que falla o está insertada en la tubería de forma incorrecta
ADEMÁS DE	Aumento cualitativo. Se obtiene algo más que las intenciones del diseño	Impurezas o una fase extraordinaria	Entrada de contaminantes del exterior como aire, agua o aceites; productos de corrosión; fallo de aislamiento; presencia de materiales por fugas interiores; fallos de la puesta en marcha



TABLA. 3.1. Palabras secundarias (continuación).

Palabra guía	Significado	Ejemplo de desviación	Ejemplo de causas originadoras
PARTE DE	Disminución cualitativa. Parte de lo que debería ocurrir sucede según lo previsto	Disminución de la composición en una mezcla	Concentración demasiado baja en la mezcla; reacciones adicionales; cambio en la alimentación
DIFERENTE DE	Actividades distintas respecto a la operación normal	Cualquier actividad	Puesta en marcha y parada; pruebas e inspecciones; muestreo; mantenimiento; activación del catalizador; eliminación de tapones; corrosión; fallo de energía; emisiones indeseadas, etc.

La técnica completa del HazOp, ronda en el uso efectivo de estas palabras guías, por lo que su significado y uso, deben ser claramente entendidos por el grupo de análisis.

En términos simples, el proceso de estudio del HazOp involucra aplicar de una manera ordenada, todas las combinaciones relevantes de palabras claves a la planta bajo estudio, en un esfuerzo de descubrir problemas potenciales.

Es muy importante antes de que se inicie un proyecto de HazOp, se haga un trabajo de preparación. Esto, no es solo esencial en algunos aspectos, tales como la estructuración adecuada del estudio y del grupo, sino que además, aumenta la eficiencia del HazOp al mantener el interés y entusiasmo de los participantes. La realización de un análisis HazOp consta de las etapas que se describen a continuación.

RECOPIACIÓN DE DATOS

Toda la documentación relevante debe ser colectada previamente. Típicamente esto pudiera consistir de lo siguiente:

- Un diagrama de flujo del proceso (DFP).
- Una descripción comprensiva del proceso, conteniendo parámetros de operación, promedio de flujo, volúmenes, etc.
- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI).
- Diagramas causa - efecto indicando como operan los sistemas de lazo y de control.
- Si está disponible, información del fabricante.
- Diagramas de distribución de la planta (PLG).



ENTENDER EL TEMA

Para lograr una buena comprensión de cómo debe de operar la planta, es necesario estudiar la información y platicarlo con el personal involucrado. Al realizar la tarea, es muy probable que identifiquen áreas con problemas potenciales. Sin una comprensión razonable de cómo funciona la planta, será problemático planear una estrategia sensible del estudio, decidir cuanto tiempo durará la revisión o quién necesita ser incluido en el grupo de trabajo.

DEFINICIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Consiste en delimitar las áreas a las cuales se aplica la técnica. En una determinada instalación de proceso, considerada como el área objeto de estudio, se definirán para mayor comodidad una serie de subsistemas o líneas de proceso que corresponden a entidades funcionales propias: línea de carga a un depósito, separación de disolventes, reactores, etc.

En plantas continuas, el análisis va de corriente arriba hacia corriente abajo, con servicios tales como, drenaje, ventilación, instrumentos de aire, agua de enfriamiento, etc., siendo consideradas separadamente y al final. Con operaciones por lotes o "batch" se requiere un enfoque diferente. En tales casos, los diagramas de la planta no son el enfoque primario del estudio y son más bien accesorios. De mayor importancia será, un diagrama de flujo detallado o la secuencia de pasos operativos, que deben ser realizados.

MARCAR LOS PLANOS

Cuando la estrategia del estudio se haya decidido, los elementos de la planta integrados en cada tabla, se deben marcar en colores separados y distintivos, con los números de la tabla o nodo marcados con el mismo color. Las líneas deben ser paralelas y los equipos y depósitos delineados con el mismo color. Donde una tabla se extienda en dos o más planos, el color utilizado se debe mantener.

En cada uno de estos subsistemas o líneas se deberán identificar una serie de nodos o puntos claramente localizados en el proceso. Por ejemplo, tubería de alimentación de una materia prima a un reactor, impulsión de una bomba, depósito de almacenamiento, etc. Cada nodo deberá ser identificado y numerado correlativamente dentro de cada subsistema y en el sentido del proceso para mejor comprensión y comodidad. La técnica HazOp se aplica a cada uno de estos puntos. Cada nodo vendrá caracterizado por variables de proceso: presión, temperatura, caudal, nivel, composición, viscosidad, etc.



SELECCIONAR UNA LISTA DE PALABRAS GUÍAS ADECUADAS

Las "palabras guía" se utilizan para indicar el concepto que representan a cada uno de los nodos definidos anteriormente que entran o salen de un elemento determinado. Se aplican tanto a acciones (reacciones, transferencias, etc.) como a parámetros específicos (presión, caudal, temperatura, etc.).

PREPARAR LA AGENDA DE TRABAJO

El líder debe formular un horario, indicando lo que necesita lograrse en cada junta de trabajo, para cumplir con el límite de tiempo asignado al estudio. Al integrar el calendario de trabajo, el líder se debe basar en su experiencia, para evaluar el tiempo requerido en cada revisión. Mucho de esto dependerá, de la complejidad de la planta y la experiencia del grupo.

RESULTADOS

Una vez identificadas las causas, se hace una evaluación, para determinar si tales desviaciones y sus consecuencias, pueden tener un efecto negativo en la seguridad y operación eficiente de la planta. Si se considera necesario, se establecen acciones para remediar la situación.

Los resultados se registran, en un formato de tabla o matriz con los siguientes encabezados principales.

DESVIACION	CAUSA	CONSECUENCIA	PROTECCIONES	RECOMENDACIÓN
------------	-------	--------------	--------------	---------------

La *desviación* es la combinación de palabras claves que se está aplicando, la *causa* el origen potencial que resultaría en la desviación y la *consecuencia* los resultados que se producirían, tanto como efecto de la desviación. Al evaluar las consecuencias, no se deben considerar los sistemas de protección o los instrumentos ya incluidos en el diseño. Las *recomendaciones* son cualquier dispositivo protector, ya sea que prevenga la causa o salvaguarde contra consecuencias adversas, estas deben ser registradas en esta columna y finalmente, donde una causa creíble, resulte en una consecuencia negativa, se debe decidir si se debe tomar alguna acción. Si parece que las medidas de protección son adecuadas, entonces ninguna acción necesita ser tomada. Las acciones caen en dos categorías: las que eliminan la causa y las que mitigan o eliminan las consecuencias.



INFORME FINAL

El reporte del HazOp, es un documento clave respecto a la seguridad de la planta. El número de horas - hombre dedicadas al estudio, es generalmente considerable. Es crucial, que el beneficio de este estudio de expertos, sea fácilmente accesible y comprensible para una referencia futura, en caso de que haya necesidad de modificar la planta o sus condiciones de operación.

El informe final consta de los siguientes documentos:

- Esquemas simplificados con la situación y numeración de los nodos de cada subsistema.
- Formatos recabados de las sesiones con indicación de las fechas de realización y composición del equipo de trabajo.
- Análisis de los resultados obtenidos. Se puede llevar a cabo una clasificación cualitativa de las consecuencias identificadas.
- Listado de las medidas a tomar. Constituye una lista preliminar que debería ser debidamente estudiada en función de otros criterios (costo, otras soluciones técnicas, consecuencias en la instalación, etc.) y cuando se disponga de más elementos de decisión.
- Lista de los sucesos iniciadores identificados.

Así mismo el HazOp utiliza una matriz de riesgo, que indica el índice o número de riesgo que permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad o no del riesgo, o bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. El sistema para establecer prioridades a las recomendaciones a implementar deberá usar una matriz de índice de riesgo que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad o gravedad de las consecuencias del mismo.

Tabla 3.2. Matriz de riesgos: (7)

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



Las frecuencias que se utilizan para la estimación de los riesgos son las siguientes:

Tabla 3.3. Frecuencias. ⁽⁷⁾

NUM.	FRECUENCIA	DESCRIPCIÓN
1	Frecuente	Ocorre más de una vez al año.
2	Ocasional	Ha ocurrido o puede ocurrir varias veces durante la vida de la planta.
3	Posible	Se espera que ocurra no más de una vez en la vida de la planta.
4	Importante	No se espera que ocurra en la vida de la planta.

Fuente: Manual de Análisis de Riesgos, documento número 312-40900-03-229, emitido por la SITSI.

La gravedad de las consecuencias para la estimación de los riesgos son las siguientes:

Tabla 3.4. Gravedades. ⁽⁷⁾

NUM.	GRAVEDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN
1	Catastrófico	Personas	Pérdida de una o más vidas fuera de la refinería.
		Instalaciones	Daños por más de \$25,000,000.
		Medio ambiente	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la refinería.
		Operación	Paro de la refinería.
2	Mayor	Personas	Un lesionado fuera de la refinería y una pérdida de vida dentro de la refinería.
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$2,500,000 y \$25,000,000.
		Medio ambiente	Fuga mayor que no requiere limpieza fuera de la refinería.
		Operación	Paro de más de una planta.
3	Significativo	Personas	Varios lesionados dentro de la refinería.
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$250,000 y \$2,500,000.
		Medio ambiente	Fuga menor que requiere limpieza dentro de la refinería.
		Operación	Paro de una planta.



Tabla 3.4. Gravedades (continuación).

NUM.	GRAVEDAD	ASPECTO	DESCRIPCIÓN
4	Importante	Personas	Un lesionado dentro de la refinería
		Instalaciones	Daños por menos de \$250,000
		Medio ambiente	Fuga menor
		Operación	Paro de equipo o sección de planta

Fuente: Manual de Análisis de Riesgos, documento número 312-40900-03-229, emitido por la SITSI.

Una vez estimado el riesgo se le asigna una letra de la "A" a la "D" para clasificar la recomendación o recomendaciones que se planteen para disminuir dicho riesgo, originado una matriz de riesgos como la que se describe a continuación.

Tabla 3.5. Matriz de clases de riesgo. ⁽⁷⁾

GRAVEDAD					FRECUENCIA
4	3	2	1		
C	B	A	A	1	
D	C	B	A	2	
D	D	C	B	3	
D	D	D	C	4	

Tabla 3.6 Clases de Riesgo. ⁽⁷⁾

NUM.	CLASE	DESCRIPCIÓN	SEGUIMIENTO
1 a 3	A	Inaceptable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo C o menor dentro de un periodo de 6 meses.
4	B	Indeseable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo C o menor dentro de un periodo de 12 meses.

Tabla 3.6 Clases de Riesgo (continuación).⁽⁷⁾

NUM.	CLASE	DESCRIPCIÓN	SEGUIMIENTO
6	C	Aceptable con controles	Debe verificarse que los procedimientos o controles estén en su lugar, en uso y que sean efectivos.
7 a 10	D	Aceptable como está	No se requiere mitigar el riesgo.

Fuente: Manual de Análisis de Riesgos, documento número 312-40900-03-229, emitido por la SITSI.

3.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

Nació en la década de los años 60 para la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman y ha sido ampliamente utilizado en el campo nuclear y químico. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallas de componentes

Este análisis se realiza sobre el denominado "Árbol de Fallas", entendiendo por ello, la representación lógica de las secuencias de acontecimientos que pueden llevar a un suceso arbitrariamente elegido como "evento culminante"; el árbol nos proporciona la probabilidad o la frecuencia con que puede ocurrir un evento indeseable (escenario potencial de accidente).

Se emplea entonces para el del árbol de fallas la técnica conocida como análisis de conjuntos mínimos, la cual consiste de un método matemático para manipular la estructura lógica del árbol de fallas e identificar así todas las combinaciones de eventos básicos los cuales inciden en el evento culminante, mediante el uso de las reglas algebraicas del álgebra booleana. Así la estructura lógica del árbol de fallas original es matemática y lógicamente equivalente a la estructura original solo que con una estructura mínima de conjuntos.

La construcción de un *árbol de fallas* se convierte a menudo en una tarea titánica ya que la necesidad de los analistas de ofrecer resultados fiables obliga, con frecuencia, a fijar unos límites tanto interiores (nivel de desagregación) como exteriores (alcance) de cierta amplitud.



METODOLOGÍA

El Análisis de Árbol de Fallas comienza con la definición de un suceso no deseado al que se denominará "evento culminante", el objetivo será analizar las causas de dicho suceso y cuantificar su probabilidad de ocurrencia. El evento culminante se puede dar mediante la combinación de fallas de un equipo, de sus componentes o fallas del operador. La probabilidad o frecuencia del evento culminante se determina sumando las frecuencias o las probabilidades y multiplicando las probabilidades con probabilidades o las probabilidades con frecuencias pero nunca multiplicando las frecuencias con frecuencias.

La técnica FTA consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallas de componentes, errores humanos, errores operativos, etc. Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos.

Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración del árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos, las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol. Usa puertas de entrada y salida, las cuales son representadas por símbolos y por las letras "Y" (que representa el producto) y "O" (que representa la suma).

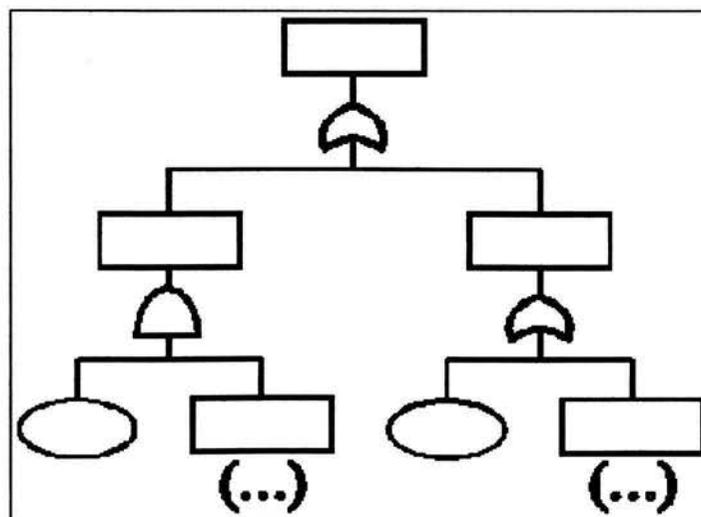


FIGURA. 3.1. Ejemplo de árbol de fallas.



Los símbolos representan tanto sucesos, puertas lógicas y transferencias. Los más importantes son los siguientes:



FIGURA. 3.2. Simbología para la realización de un árbol de fallas.

Sucesos intermedios: Resultan de la interacción de otro suceso, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.

Sucesos básicos: Constituyen la base de la raíz del árbol. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos.

Sucesos no desarrollados: No son sucesos básicos y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.

Puertas "O": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.

Puertas "Y": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida.

Con esta simbología, el árbol de fallas se va desarrollando, partiendo como se ha comentado de un suceso no deseado o accidental que ocupa la cúspide del árbol, y a



partir de este suceso, se van estableciendo de forma sistemática todas las causas inmediatas que contribuyen a su ocurrencia definiendo así los sucesos intermedios unidos mediante las puertas lógicas.

El resultado más frecuente de la etapa de construcción del árbol de fallas es el grafo del mismo, o sea, la representación gráfica de las relaciones lógicas entre las variables básicas, intermedias y evento culminante. A partir de este grafo se puede obtener la función lógica que lo representa, que será en nuestro caso una función booleana de n variables indicadoras binarias del suceso y a la que denominaremos función de estructura, que no es más que una función Booleana de variable indicadora binaria. Esta función contiene cualitativa y cuantitativamente toda la información que encierra el árbol de fallas acerca del suceso no deseado.

Cuando todas las secuencias razonables se han identificado y el árbol esta bien construido, el análisis FTA es posiblemente la herramienta más poderosa para la cuantificación de riesgos. El árbol de fallas consiste en varios niveles de sucesos, conectados por puertas "Y" o puertas "O". Las citadas conexiones lógicas suelen representarse utilizando el álgebra de Boole. Las reglas utilizadas más frecuentemente en la aplicación al análisis de árbol de fallas se muestran en la tabla.

TABLA. 3.7. Reglas booleanas de uso frecuente.

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

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

Teoría de Conjuntos.

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

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



Cálculo de la Probabilidad.

$$P = 1 - e^{-f \cdot t}$$

Donde:

f = eventos/año

t = número de años

P = probabilidad

e = número de Euler

Tabla 3.8. El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos.

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

Una vez conseguida la probabilidad por medio del álgebra booleana, se obtiene la frecuencia despejando esta de la fórmula de probabilidad antes descrita.

3.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC)

Los eventos riesgosos pueden ocurrir mientras se producen, almacenan, transportan, utilizan, o se disponen de sustancias peligrosas. Cualquiera que sea la forma como se inician, pueden ser en extremo difíciles de controlar o mitigar.

Los diversos tipos de accidentes graves a considerar en los establecimientos en los que haya sustancias peligrosas, pueden producir determinados **fenómenos peligrosos** para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales:

- Fenómenos de tipo mecánico: **ondas de presión y proyectiles**
- Fenómenos de tipo térmico: **radiación térmica**
- Fenómenos de tipo químico: **fugas o derrames incontrolados de sustancias tóxicas o contaminantes.**

Para cada uno de estos fenómenos peligrosos, se establecen una serie de variables físicas, que definen unos **criterios de vulnerabilidad** cuyas magnitudes se consideran representativas para la evaluación del alcance del fenómeno peligroso considerado. De la aplicación de estos criterios de vulnerabilidad a partir de las variables físicas y químicas que caracterizan los fenómenos peligrosos generados según los tipos genéricos de accidentes potenciales que se pueden producir, se delimitan una serie de **zonas objeto de planificación**, es decir, áreas alrededor del



foco del accidente en las que es preciso tomar alguna medida de protección para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales porque, en alguna medida sufrirán las consecuencias del propio accidente.

Estas zonas son las siguientes:

- a) **Zona de intervención:** las consecuencias de los accidentes producen un nivel de daños que justifica la aplicación inmediata de medidas de protección.
- b) **Zona de alerta:** las consecuencias de los accidentes provocan efectos que, aunque perceptibles por la población, no justifican la intervención, excepto para los grupos críticos de población.

TABLA. 3.9. Tipos principales de peligros y los parámetros de consecuencias típicas.

TIPOS DE PELIGROS	PARÁMETROS DE CONSECUENCIAS TÍPICOS
Toxicidad	Concentración de isopletras ➤ Explosiones IDLH (Peligro inminente para la vida o salud) ➤ Exposiciones ERPG (Guías para la planificación de respuesta a emergencias)
Fuego	Radiación térmica, causando ➤ Quemaduras en la piel ➤ Muertes ➤ Daños en propiedades
Explosión	Presión excesiva causando ➤ Daños en las propiedades ➤ Daños físicos

Fuente: "Manual de evaluación y Administración de Riesgos", Kolluru, Pitblado.

Normalmente, un accidente de estas características se produce a partir de algún suceso menor que trae como consecuencia la pérdida de estanqueidad de algún recipiente, depósito o tubería que contiene alguna sustancia, lo que produce la **fuga o derrame** de esta sustancia al exterior. También es posible un incendio previo o simultáneo a una fuga o incluso, una explosión previa a la fuga o al incendio. No obstante, en la mayoría de los casos el primer suceso consiste en una fuga incontrolada de producto.

Si se trata de algún líquido, se **vaporiza** total o parcialmente, según cual sea su temperatura respecto a su punto de ebullición y ésta respecto al ambiente. En el caso de que reste alguna fracción en fase líquida, ésta se extiende al mismo tiempo que se evapora con más o menos intensidad según que su temperatura sea inferior o superior a la del sustrato sobre el que se extiende. Si además el líquido es inflamable, existe la posibilidad de que, por encontrarse una fuente de ignición en las proximidades del punto de fuga, se produzca un **incendio del charco**. Si éste es de grandes proporciones, provoca un flujo de calor radiante peligroso hasta distancias



apreciables. También se producen grandes cantidades de humo y productos tóxicos y contaminantes.

Si el incendio envuelve o rodea un depósito que contenga algún líquido inflamable bajo presión y dura el tiempo suficiente, puede ocasionar una **explosión por expansión de vapor del líquido en ebullición**, conocida como **BLEVE** según su acrónimo inglés. La rotura catastrófica de un depósito provocando la fuga masiva de una sustancia inflamable, puede originar lo que se denomina bola de fuego, en el caso de que se produzca la ignición de la misma. Por otra parte, una BLEVE genera una serie de proyectiles de todas dimensiones, procedentes del depósito siniestrado que pueden causar graves daños en el entorno si las distancias de seguridad son demasiado pequeñas o las protecciones inadecuadas.

Si el líquido que se derrama es tóxico, producto de su vaporización, puede generar una **nube de características tóxicas** para las personas que se encuentren en las proximidades del punto de fuga.

Cuando se trata de líquidos inflamables que se vaporizan o de fugas de gases más densos que el aire, la nube de gas se diluye en el aire existente, haciendo que en determinados instantes y zonas existan mezclas de combustible y comburente en condiciones de efectuar la combustión. Si en una de estas zonas se encuentra un punto de ignición puede desprenderse la cantidad de calor necesaria para acelerar la velocidad de combustión de forma que se produzca una explosión, denominada **explosión de vapor no confinada** o **UVCE** en su acrónimo inglés. También es posible si la cantidad premezclada es muy grande, que se produzca una llamarada o "**flash fire**", sin efectos explosivos, pero con una intensa radiación.

Si el gas fugado se halla a alta presión en depósitos o conducciones de gas (**gasoductos**) se produce un chorro o fuga inercial que ocupa una larga zona muy limitada transversalmente, con concentraciones de la sustancia progresivamente decrecientes al alejarse del origen de la fuga. En el caso de tratarse de gases inflamables, si se produce su ignición se forma un **dardo de fuego** o "**jet fire**" análogo a un soplete de grandes dimensiones, aunque de alcance limitado.

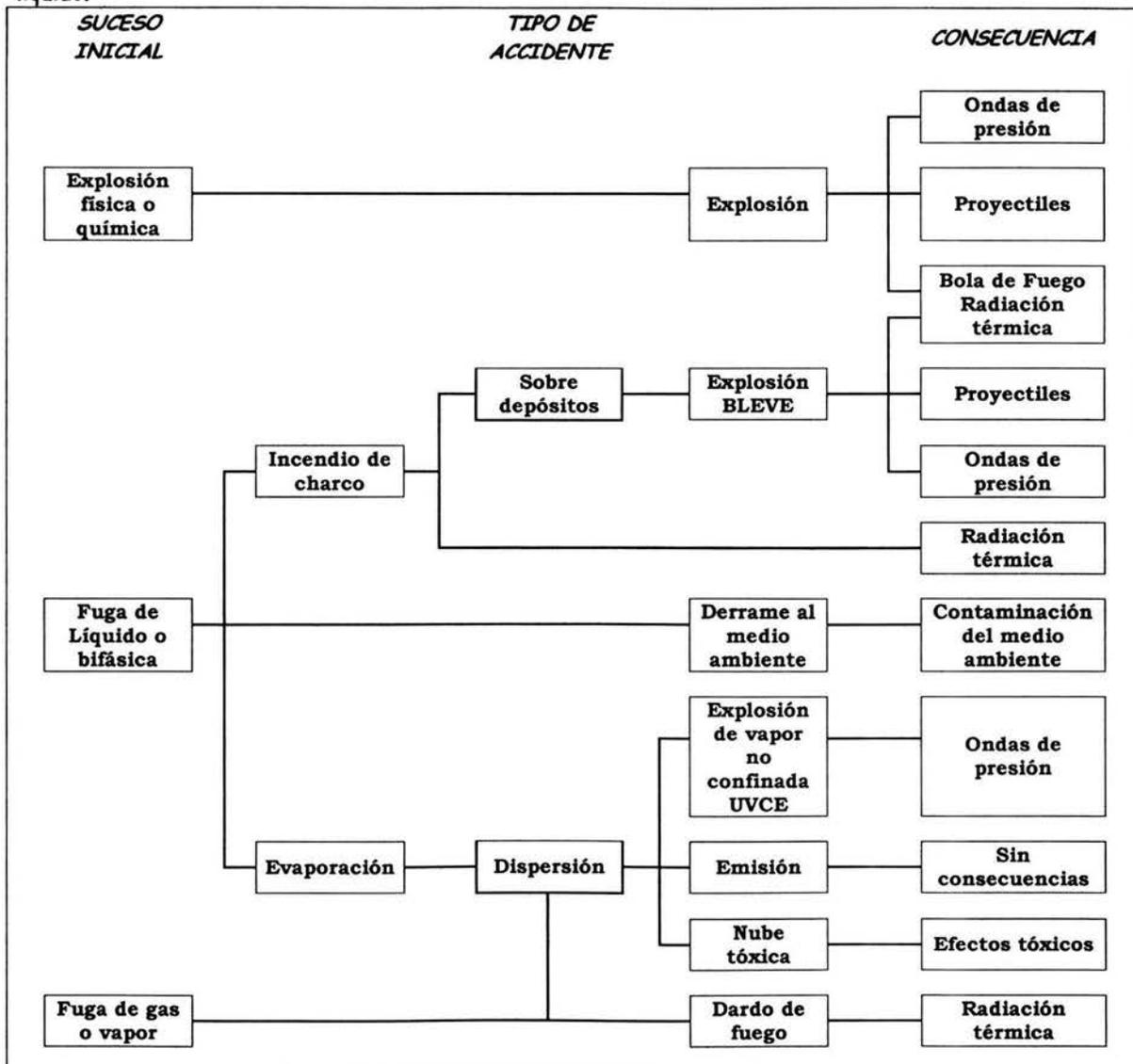
Una falla estructural, falla de cimentación, agente externo, incendio, proyectil, etc., puede causar una rotura catastrófica de un depósito, provocando una fuga masiva que, si se trata de una sustancia inflamable, puede originar también una **bola de fuego** o "**fireball**" caso de producirse la ignición de la misma.

Además de todo esto, existe la posibilidad de que todos estos fenómenos afecten, además de a los elementos vulnerables exteriores, a otros depósitos, tuberías o equipos de la instalación siniestrada, de tal manera que se produzca una

nueva fuga, incendio o explosión en otra instalación diferente de la inicial, aumentando las consecuencias del accidente primario. Esta concatenación de sucesos con la propagación sucesiva de consecuencias es lo que se denomina **efecto dominó**.

Un tipo de accidente que puede ser independiente de una fuga previa es el estallido de un depósito originado por el desarrollo de una reacción exotérmica fuera de control o "runaway" en el interior del mismo. Se pueden producir por mezclas inflamables vapor/aire por polimerización o descomposición de determinadas materias. Las consecuencias inmediatas de un estallido de un recipiente son la formación de ondas de presión y proyectiles que pueden alcanzar a otras instalaciones y agravar el accidente inicial.

Figura 3.3. Esquema representativo de conjunto de accidentes posibles a partir de una fuga de gas o líquido.





METODOLOGÍA

Para el análisis de consecuencias de la planta se utiliza un software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, conocido como PHAST (Process Hazard Analysis Safety Tool) versión 6.1. Este software es aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y las compañías reaseguradoras, en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgo.

Para poder ejecutar el programa es necesario, especificar diversos datos, primero es preciso crear una carpeta con el nombre de la planta en estudio, a continuación crear una subcarpeta con el nombre del tipo de escenario (fuga de propano en la bomba GA-320 A/B).

Posteriormente se especifica la mezcla o el compuesto y sus características, así como parámetros de operación y condiciones ambientales.

Para la generación de eventos es muy importante considerar los resultados obtenidos de la metodología HazOp, el registro de incidentes y accidentes de la planta en estudio.

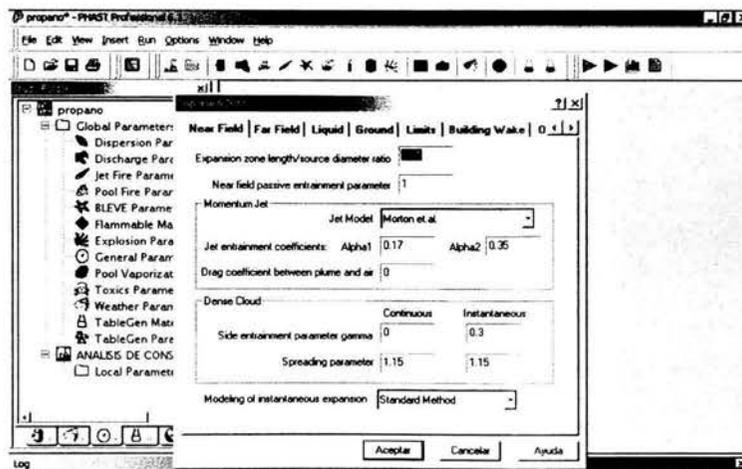


Figura 3.4. Phast

Las composición de la mezcla o compuesto se toman de los balances de materia, que se obtienen de los diagramas de flujo de proceso (DFP) de la planta.

Adicionalmente, para realizar una simulación en el software PHAST se deben tomar las siguientes consideraciones:



- a) El orificio formado por corrosión en bridas, sellos de las válvulas y en las líneas a analizar.
- b) Las condiciones de presión y temperatura se toman de los diagramas de flujo de proceso de cada equipo.
- c) Para la determinación de los radios de afectación por materiales tóxicos, radiación térmica y por niveles de sobrepresión se toma como base los criterios establecidos por el INE (Instituto Nacional de Ecología).

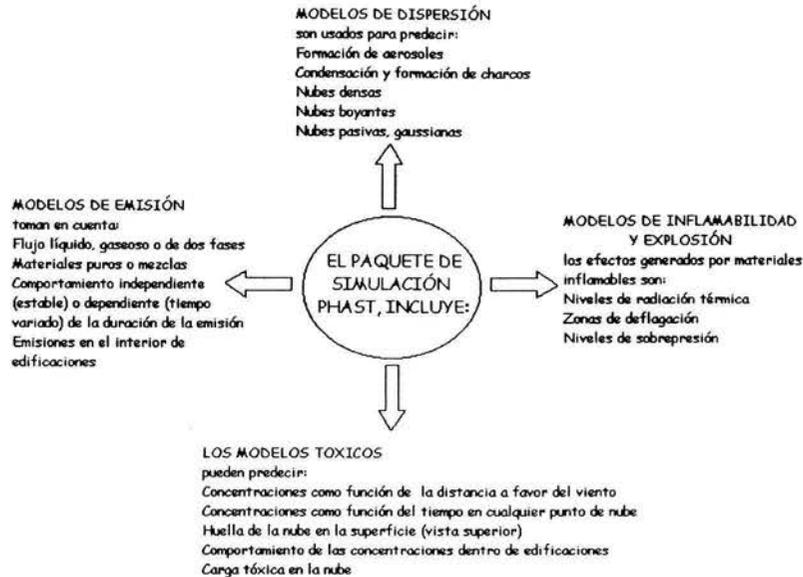


Figura 3.5. Modelos de aplicación del Phast.

Finalmente se verifica que no falte ningún dato y se procede a correr el programa que arrojará los datos necesarios para indicar los niveles de riesgo y los posibles daños materiales, humanos y ambientales.



CAPÍTULO N

RESULTADOS



4. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS HAZOP

Para propósito del Análisis de Peligro y Operabilidad (HazOp) de la planta de alquilación, se dividió el proceso en un total de 7 circuitos que son:

Tabla 4.1. Circuitos del estudio HazOp.

CIRCUITO	NOMBRE
1.	Pretratamiento de carga
2.	Reacción
3.	Sección de tratamiento de HF
4.	Tratamiento de ASA's (aceite soluble en ácido)
5.	Fraccionamiento
6.	Alquilado producto
7.	Tratamiento de productos

Los 7 circuitos, se subdividieron en nodos, mismos que fueron analizados.

“Para efecto de este trabajo sólo se presentan los resultados del circuito de tratamiento de productos, exclusivamente nodos 14 a 16”.

DIAGRAMAS UTILIZADOS PARA LAS SECCIONES HAZOP.

Los diagramas de tuberías e instrumentación (DTI's) para el circuito de tratamiento de productos, fueron actualizados mediante revisión en campo y utilizados durante las reuniones de HazOp, y son los siguientes:

Tabla 4.2. Diagramas utilizados.

No. CIRCUITO	Nº DIAGRAMA	NOMBRE DEL DIAGRAMA
7	PAP-33-P1-EF-010 Rev. 8*	Fraccionadora principal y agotadora de HF 1/2.
7	PAP-33-P1-EF-011 Rev. 10.	Fraccionadora principal y agotadora de HF 2/2.
7	PAP-33-P1-EF-012 Rev. 8.	Tratadores de Propano y Butano 1/2.
7	PAP-33-P1-EF-013 Rev. 8.	Tratadores de Propano y Butano 2/2.

* Para ver los diagramas revisar el Apéndice “A”.



RECOMENDACIONES OBTENIDAS

Para el nodo 14: Columna agotadora de HF DA-306 (línea de propano), se obtuvieron las siguientes recomendaciones.

Nivel	Escenario	Nodo	Desviación	Causa	Recomendaciones
C	145	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	1. Alta temperatura en el fondo	1. Mayor flujo de vapor al EA-324 (por apertura del directo de la válvula FV-31133. a) Que falle la válvula en abierto. b) Mal funcionamiento de la trampa de vapor. c) Error humano.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas automáticas e instrumentos. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Implementar un programa de mantenimiento a trampas de vapor en zonas críticas.
C	146	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	1. Alta temperatura en el fondo	2. Variación en la composición del flujo de entrada a la DA-306.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas automáticas e instrumentos. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de capacitación en principios de destilación (donde intervenga la relación de reflujo mínimo).
C	147	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	2. Baja temperatura	1. Alta extracción de propano (mayor de 1/3 de la carga) en DA-306	1. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 2. Continuar con el programa de capacitación en principios de destilación (donde intervenga la relación de reflujo mínimo).
C	148	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	2. Baja temperatura	2. Falla en posición de cerrado FV-31133, entrada de vapor a EA-324.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 2. Continuar con el programa de capacitación en principios de destilación (donde intervenga la relación de reflujo mínimo). 3. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas.
C	150	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	3. Más nivel	1. Falla en posición de cerrado FV-31138, salida de propano de DA-306. a) Falla de señal.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 2. Continuar con el programa de capacitación en principios de destilación (donde intervenga la relación de reflujo mínimo). 3. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas.
C	151	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	3. Más nivel	2. Obstrucción de la línea de propano en el fondo de la DA-306. a) Por arranque de planta.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 2. Cumplir con el procedimiento de lavado y enjuague de la torre DA-306 en la etapa de reparación.
C	152	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	3. Más nivel	3. Falla de señal en el LT-31119 indicando menor nivel del real en DA-306.	1. Instalar indicadores de nivel magnéticos con interiores de monel que sustituyan a los indicadores de nivel local actuales en DA-306. 2. Cambiar transmisor de nivel tipo desplazador por transmisor de sellos remotos de diafragmas de oro-monel. 3. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones.



Nodo 14: Columna agotadora de HF DA-306 (línea de propano) continuación.

Nivel	Escenario	Nodo	Desviación	Causa	Recomendaciones
C	153	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	4. Menos nivel	1. Obstrucción de los anillos rashing del empaque de la torre DA-306.	1. Continuar con el procedimiento de cargado de la torre DA-306 para evitar que se rompa el anillo rashing.
C	155	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	5. Alta presión	1. Falla en cerrado de la PV-31130. a) Por atoramiento por fluoruros. b) Error humano.	1. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración a PSV's. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas.
C	156	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	6. Corrosión	1. Ruptura de tubos en el EA-324.	1. Cambiar tubos de acero al carbón por monel. 2. En cada reparación verificar que el empaque sea de monel-teflón. 3. Continuar con la rutina operacional de las hojas de lectura en campo.
C	157	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	6. Corrosión	2. Ruptura de tubos en el EA-325.	1. Continuar con la práctica operacional de niveles de explosividad de la torre EF-300. 2. Contar con un núcleo de refaccionamiento. 3. Continuar con la rutina operacional de las hojas de lectura en campo.
D	149	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	2. Baja temperatura	3. Cerradas las válvulas manuales laterales de FV-31133, entrada de vapor a EA-324 o los bloqueos de la trampa de vapor. a) Por error humano.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 2. Continuar con el programa de capacitación en principios de destilación (donde intervenga la relación de reflujo mínimo). 3. Continuar con los procedimientos de operación de la planta.
D	154	14. Columna agotadora de HF DA-306 (Línea de propano).	4. Menos nivel	2. Calzada en posición de abierto la válvula de seguridad PSV-3117 o abierto su directo en DA-306.	1. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's.



Para el nodo 15: Sección de tratamiento de butano FA-313A/B, hasta límite de batería, se obtuvieron las siguientes recomendaciones.

Nivel	Escenario	Nodo	Desviación	Causa	Recomendaciones
B	162	15. Sección de tratamiento de butano FA-313 A/B hasta límite de batería.	3. Baja temperatura	1. Baja temperatura a la salida del EA-330A/B. a) Capacidad de enfriamiento mayor a lo requerido en el proceso.	1. Hacer el estudio para operar con un solo cambiador EA-330. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. 4. Contar con la disponibilidad para el uso del intercambiador.
C	158	15. Sección de tratamiento de butano FA-313 A/B hasta límite de batería.	1. No hay reacción	1. Baja temperatura en los defluorinadores FA-313 A/B. a) Que la válvula TV-31177 falle en cerrado. b) Por bajo flujo de alquilado.	1. Capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentos. 3. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones.
D	159	15. Sección de tratamiento de butano FA-313 A/B hasta límite de batería.	2. No flujo	1. Falla en posición de cerrado FV-31139 en la línea de butano producto. a) Por alta diferencial de temperatura en el FA-314. b) Falla de aire. C) Disparo del calentador BA-301.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentación. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.
D	160	15. Sección de tratamiento de butano FA-313 A/B hasta límite de batería.	2. No flujo	2. Falla en posición de cerrado PV-31131 en la línea de butano producto al límite de batería.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentación. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.
D	161	15. Sección de tratamiento de butano FA-313 A/B hasta límite de batería.	2. No flujo	3. 3. Obstrucción en el tratador FA-314, EA-330 A/B, FA-313 A/B.	1. Continuar con los análisis de laboratorio para evitar la obstrucción de los equipos y evaluar el cambio de la alumina para los defluorinadores FA-313 A/B. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentación. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal encargado.
D	163	15. Sección de tratamiento de butano FA-313 A/B hasta límite de batería.	4. Alta concentración de HF	1. Corriente de butano con alto contenido de HF.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. 2. Contar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de las PSV's. 4. Continuar con la rutina operacional de análisis.



Para el nodo 16: Sección de tratamiento de propano FA-311A/B, hasta límite de batería, se obtuvieron las siguientes recomendaciones.

Nivel	Escenario	Nodo	Desviación	Causa	Recomendaciones
B	168	16. Sección de tratamiento de propano de FA-311 A/B hasta límite de batería.	3. Baja temperatura	1. Baja temperatura a la salida del EA-327. a) Capacidad de enfriamiento mayor a lo requerido en el proceso.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. 3. Programa de calibración de espesores de líneas.
C	164	16. Sección de tratamiento de propano de FA-311 A/B hasta límite de batería.	1. No hay reacción	1. Baja temperatura en los defluorinadores FA-311 A/B. a) Que la válvula TV-31181 falle en cerrado. b) Por bajo flujo de alquilado.	1. Capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentos. 3. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones.
D	165	16. Sección de tratamiento de propano de FA-311 A/B hasta límite de batería.	2. No flujo	1. Falla en posición de cerrado TV-31184 en la línea de propano producto. a) Por alta diferencial de temperatura en el FA-312. b) Falla de aire. c) Disparo del calentador BA-301.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentación. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.
D	166	16. Sección de tratamiento de propano de FA-311 A/B hasta límite de batería.	2. No flujo	2. Falla en posición de cerrado PV-31133 en la línea de propano producto al límite de batería.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentación. 2. Continuar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.
D	167	16. Sección de tratamiento de propano de FA-311 A/B hasta límite de batería.	2. No flujo	3. Obstrucción en el tratador FA-312, EA-327 A/B, FA-311 A/B.	1. Continuar con los análisis de laboratorio para evitar la obstrucción de los equipos y evaluar el cambio de la alumina para los defluorinadores FA-311 A/B. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentación. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal encargado.
D	169	16. Sección de tratamiento de propano de FA-311 A/B hasta límite de batería.	4. Alta concentración de HF	1. Corriente de propano con alto contenido de HF.	1. Continuar con el programa de mantenimiento a instrumentos. 2. Contar con el programa de mantenimiento a protecciones. 3. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de las PSV's. 4. Continuar con la rutina operacional de análisis.



ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL HAZOP

Como se muestra en los resultados anteriores se encuentra que para el nodo 14, el riesgo de sufrir un percance es mínimo ya que la mayoría de las gravedades obtenidas es del tipo C, que permiten operar el equipo colocando nuevos controles o bien siguiendo con programas de mantenimiento a instrumentos y programas de capacitación, con esto podemos afirmar que es poco probable sufrir un accidente que conlleve a una catástrofe no deseada, minimizando así los riesgos probables.

Con lo que respecta a los nodos 15 y 16 que son muy similares, el tipo de riesgo que pueden sufrir estos circuitos es de una gravedad de tipo D, pero se encuentra análogamente una de tipo B, ya que esta es indeseable es necesario seguir la recomendación indicada para este caso, en lo general es suficiente minimizar el riesgo, sólo con continuar con el mantenimiento preventivo a válvulas, instrumentos entre otros, así como la capacitación y adiestramiento al personal encargado de vigilar estas secciones, logrando con ello la mínima probabilidad de peligro.

4.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FTA

Se seleccionaron tres escenarios para realizar análisis FTA, dichos escenarios son:

1. Alta presión en la torre agotadora de HF DA-306.
2. Incendio en la bomba GA-320 A/B.
3. Taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B.

Tabla 4.3. Descripción del escenario de sobre presión en la torre fraccionadora DA-304.

ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
1. Alta presión en la torre agotadora de HF DA-306.	Una condición de alta presión en la agotadora de HF, DA-306, puede ocurrir por inestabilidades en el proceso, falla de vapor en los calentadores, bajo nivel, instrumentos, o por un error humano.	Las consecuencias de la alta presión, puede solo culminar en fugas por conexiones y accesorios, falla de las bombas GA-310 por falta de flushing, falta de reflujo en la DA-304 o pueden ser catastróficas con daños a los trabajadores, al medio ambiente, a las instalaciones y a la comunidad aledaña.



Tabla 4.4. Descripción del escenario incendio en la bomba GA-320 A/B.

ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
2. Incendio en la bombas GA-320 A/B.	La bomba GA-320 A/B, se puede incendiar por fuga en sello causada por cavitación provocada por un descontrol en las condiciones de operación, por falla de las bridas de empalme o por fuga o ruptura de la línea de descarga o succión.	El incendio ocasionado por la fuga de propano en la bomba GA-320 A/B puede ser catastrófico ya que esta ubicada cerca de la fraccionadora DA-304, provocando daño a los intercambiadores cercanos así como a los defluorinadores y tratadores de KOH.

Tabla 4.5. Descripción del escenario taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B.

ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
3. Taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B.	El defluorinador FA-313A/B se puede tapar por una alta cantidad de fluoruros en la alimentación a este equipo, por una baja temperatura de la alimentación o bien debido a que no se lleve a cabo la reacción dentro del defluorinador.	El taponamiento puede provocar una alta presión en el FA-313, ocasionando fugas, falta de flujo en el EA-330, así como en el FA-314 provocando un mal funcionamiento de este y por consiguiente la cavitación de las bombas GA-321A/B por bajo flujo.

La tabla siguiente muestra los diagramas representativos de cada uno de los árboles de fallas para los escenarios descritos anteriormente:

Tabla 4.6. Relación de diagramas de árbol de fallos.

DIAG. NUM.	NOMBRE
1	Análisis de árbol de fallas de alta presión en la torre agotadora de HF DA-306.**
2	Análisis de árbol de fallas de incendio en la bomba GA-320 A/B.
3	Análisis de árbol de fallas de taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B.

** Para ver los diagramas revisar el apéndice A.



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

Árbol de fallas para el escenario "Alta presión en la torre agotadora de HF DA-306". Se describen los pasos del desarrollo del árbol de fallas mediante la formación de conjuntos de separación y finalmente llegar a la formación de conjuntos mínimos.

$$T = M_1 + M_2$$

$$M_1 = B_1 + B_2$$

$$M_2 = M_3 * M_4$$

$$T = B_1 + B_2 + \left[(B_5 + B_6 + B_7 + B_{10} + B_{16} + B_8 + B_{11} + B_{12} + B_8 + B_{13} + B_8 + B_{14} + B_{15} + B_{16}) + (B_2 + B_3) * (B_2 + B_4 + B_8 + B_9 + B_{14} + B_{15}) \right]$$

La última ecuación se simplifica, y se obtiene:

$$T = B_1 + B_2 + \left[\left(B_2 + B_3 + \sum_{i=5}^8 B_i + \sum_{i=10}^{16} B_i \right) * (B_2 + B_4 + B_8 + B_9 + B_{14} + B_{15}) \right]$$

Eventos básicos con sus probabilidades, del árbol de fallas de la torre agotadora de HF DA-306.

EVENTO BÁSICO		PROBABILIDAD
B1	ATORAMIENTO POR FLUORUROS	1.00E-01
B2	ERROR HUMANO	1.00E-03
B3	OBSTRUCCIÓN DE LOS ANILLOS RASHING	1.00E-03
B4	MAL FUNCIONAMIENTO DE LA TRAMPA DE VAPOR	1.00E-03
B5	FALLA DE POTENCIA	1.00E-03
B6	ERROR DE LÓGICA	1.00E-03
B7	LÍNEAS DE CONTROL DAÑADAS	1.00E-03
B8	M.P.P. M.A.A.	1.00E-05
B9	FALLA DE AIRE DE INSTRUMENTOS	1.00E-03
B10	BAJO NIVEL EN EL FA-309	1.00E-03
B11	VALVULA DE COMPUERTA CERRADA	1.00E-03
B12	CHECK MAL INSTALADA	1.00E-05
B13	FALLA DEL SUMINISTRO ELÉCTRICO	1.00E-03
B14	REFACCIONAMIENTO INEXISTENTE	1.00E-03
B15	REFACCIONAMIENTO INADECUADO	1.00E-05
B16	SUPERVICIÓN M.A.A.	1.00E-05



Árbol de fallas para el escenario "Incendio en la bomba GA-320 A/B.". Se describen los pasos del desarrollo del árbol de fallas mediante la formación de conjuntos de separación y finalmente llegar a la formación de conjuntos mínimos.

$$T = M_1 * M_2$$

$$M_1 = M_3 + M_4 + M_5 + M_6$$

$$M_2 = B_1 + M_7 + M_8$$

$$T = \left[\begin{array}{l} (B_2 + B_3 + B_{11} + B_3 + B_{12} + B_{11} + B_{11} + B_{13}) \\ + B_4 + B_5 + B_6 + B_{14} + B_{15} + B_2 + B_7 \\ + B_{16} + B_{17} + B_8 \end{array} \right] * (B_1 + B_9 + B_{18} + B_{19} + B_{10} + B_{11})$$

La última ecuación se simplifica, y se obtiene:

$$T = \left[\left(\sum_{i=2}^8 B_i + \sum_{i=11}^{17} B_i \right) * \left(B_1 + \sum_{i=9}^{11} B_i + B_{18} + B_{19} \right) \right]$$

Eventos básicos con sus probabilidades, del árbol de fallas de la bomba GA-320 A/B.

EVENTO BÁSICO		PROBABILIDAD
B1	SOBRECALENTAMIENTO DE MOTOR	1.00E-03
B2	MALA CALIDAD DE MATERIALES	1.00E-05
B3	ERROR HUMANO	1.00E-05
B4	ALINEACIÓN INADECUADA	1.00E-05
B5	DESGASTE DE LA LINEA	1.00E-03
B6	ACOPLAMIENTO INADECUADO	1.00E-03
B7	BAJO NIVEL EN LA FA-312	1.00E-03
B8	VAPORIZACIÓN DE LA CARGA	1.00E-05
B9	FLECHA DESALINEADA	1.00E-05
B10	SOBRE CARGA ELECTRICA	1.00E-05
B11	M.P.P. M.A.A.	1.00E-05
B12	ANCLAJE INADECUADO	1.00E-09
B13	MALA CAPACITACIÓN	1.00E-03
B14	SUPERVISIÓN M.A.A.	1.00E-05
B15	REFACCIONAMIENTO INEXISTENTE	1.00E-03
B16	OBSTRUCCIÓN DEL FILTRO DE SUCCIÓN	1.00E-03
B17	FALLA DEL PT-31133	1.00E-05
B18	ACEITE DE LUBRICACIÓN DE MALA CALIDAD	1.00E-07
B19	SUMINISTRO INSUFICIENTE	1.00E-05



Árbol de fallas para el escenario "Taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B." Se describen los pasos del desarrollo del árbol de fallas mediante la formación de conjuntos de separación y finalmente llegar a la formación de conjuntos mínimos.

$$\begin{aligned}
 T &= M_1 * M_2 \\
 M_1 &= B_1 + M_3 \\
 M_2 &= M_4 + M_5 \\
 T &= [(B_1 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7 + B_8 + B_2) * (B_3 + B_9 + B_{10} + B_{14} + B_{15} + B_{11} + B_{12} + B_{11} + B_{13})]
 \end{aligned}$$

La última ecuación se simplifica, y se obtiene:

$$T = \left(B_1 + B_2 + \sum_{i=4}^8 B_i \right) * \left(B_3 + B_{11} + \sum_{i=9}^{15} B_i \right)$$

Eventos básicos con sus probabilidades, del árbol de fallas del defluorinador FA-313A/B.

EVENTO BÁSICO		PROBABILIDAD
B1	RELACIÓN ÁCIDO E HIDROCARBURO EN EL REACTOR	1.00E-05
B2	SUPERVICIÓN M.A.A.	1.00E-03
B3	POR BAJO FLUJO DE ALQUILADO EN EL EA-329	1.00E-05
B4	FALLA DE POTENCIA	1.00E-03
B5	ERROR DE LÓGICA	1.00E-03
B6	LINEAS DE CONTROL DAÑADAS	1.00E-03
B7	FALLA DE LAS BOMBAS	1.00E-05
B8	FALLA DE VENTILADORES	1.00E-05
B9	M.P.P. M.A.A.	1.00E-05
B10	FALLA DE AIRE DE INSTRUMENTOS	1.00E-01
B11	ERROR HUMANO	1.00E-03
B12	MALA CAPACITACIÓN	1.00E-03
B13	MALA FILTRACIÓN DEL EMPAQUE DE LANA DENTRO DEL TUBO DE MUESTREO	1.00E-01
B14	NO EXISTEN REFACCIONES	1.00E-03
B15	REFACCIONAMIENTO INADECUADO	1.00E-05



Cálculo de conjuntos mínimos y probabilidad "Alta presión en la torre agotadora de HF DA-306", y la contribución en por ciento de cada conjunto mínimo.

Conjunto mínimo	Probabilidad de ocurrencia del conjunto	Importancia del conjunto (%)
C1= B1	1.00E-01	9.80E-01
C2= B2	1.00E-03	9.80E-03
C3= B8	1.00E-05	9.80E-05
C4= B14	1.00E-03	9.80E-03
C5= B15	1.00E-05	9.80E-05
C6= B16	1.00E-05	9.80E-05
C7= B4*B5	1.00E-06	9.80E-06
C8= B4*B6	1.00E-06	9.80E-06
C9= B4*B7	1.00E-06	9.80E-06
C10= B4*B10	1.00E-06	9.80E-06
C11= B4*B11	1.00E-06	9.80E-06
C12= B4*B12	1.00E-08	9.80E-08
C13= B4*B13	1.00E-06	9.80E-06
C14= B4*B3	1.00E-06	9.80E-06
C15= B9*B5	1.00E-06	9.80E-06
C16= B9*B6	1.00E-06	9.80E-06
C17= B9*B7	1.00E-06	9.80E-06
C18= B9*B10	1.00E-06	9.80E-06
C19= B9*B11	1.00E-06	9.80E-06
C20= B9*B12	1.00E-08	9.80E-08
C21= B9*B13	1.00E-06	9.80E-06
C22= B9*B3	1.00E-06	9.80E-06
Total	1.02E-01	100%
Probabilidad del evento culminante = $\sum_{i=1}^{22} = 1.02 E - 1$		
La frecuencia del evento culminante es = 1.08E-01		



Cálculo de conjuntos mínimos y probabilidad de "Incendio en la bomba GA-320A/B", y la contribución en por ciento de cada conjunto mínimo.

Conjunto mínimo	Probabilidad de ocurrencia del conjunto	Importancia del conjunto (%)
C1= B2	1.00E-05	2.76E-01
C2= B3	1.00E-05	2.76E-01
C3= B11	1.00E-05	2.76E-01
C4= B1*B4	1.00E-08	2.76E-04
C5= B1*B5	1.00E-06	2.76E-02
C6= B1*B6	1.00E-06	2.76E-02
C7= B1*B7	1.00E-06	2.76E-02
C8= B1*B8	1.00E-08	2.76E-04
C9= B1*B12	1.00E-12	2.76E-08
C10= B1*B13	1.00E-06	2.76E-02
C11= B1*B14	1.00E-08	2.76E-04
C12= B1*B15	1.00E-06	2.76E-02
C13= B1*B16	1.00E-06	2.76E-02
C14= B1*B17	1.00E-08	2.76E-04
C15= B9*B4	1.00E-10	2.76E-06
C16= B9*B5	1.00E-08	2.76E-04
C17= B9*B6	1.00E-08	2.76E-04
C18= B9*B7	1.00E-08	2.76E-04
C19= B9*B8	1.00E-10	2.76E-06
C20= B9*B12	1.00E-14	2.76E-10
C21= B9*B13	1.00E-08	2.76E-04
C22= B9*B14	1.00E-10	2.76E-06
C23= B9*B15	1.00E-08	2.76E-04
C24= B9*B16	1.00E-08	2.76E-04
C25= B9*B17	1.00E-10	2.76E-06
C26= B18*B4	1.00E-12	2.76E-08
C27= B18*B5	1.00E-10	2.76E-06
C28= B18*B6	1.00E-10	2.76E-06
C29= B18*B7	1.00E-10	2.76E-06
C30= B18*B8	1.00E-12	2.76E-08
C31= B18*B12	1.00E-16	2.76E-12
C32= B18*B13	1.00E-10	2.76E-06
C33= B18*B14	1.00E-12	2.76E-08
C34= B18*B15	1.00E-10	2.76E-06
C35= B18*B16	1.00E-10	2.76E-06
C36= B18*B17	1.00E-12	2.76E-08
C37= B19*B4	1.00E-10	2.76E-06
C38= B19*B5	1.00E-08	2.76E-04
C39= B19*B6	1.00E-08	2.76E-04
C40= B19*B7	1.00E-08	2.76E-04



Conjunto mínimo	Probabilidad de ocurrencia del conjunto	Importancia del conjunto (%)
C41= B19*B8	1.00E-10	2.76E-06
C42= B19*B12	1.00E-14	2.76E-10
C43= B19*B13	1.00E-08	2.76E-04
C44= B19*B14	1.00E-10	2.76E-06
C45= B19*B15	1.00E-08	2.76E-04
C46= B19*B16	1.00E-08	2.76E-04
C47= B19*B17	1.00E-10	2.76E-06
C48= B10*B4	1.00E-10	2.76E-06
C49= B10*B5	1.00E-08	2.76E-04
C50= B10*B6	1.00E-08	2.76E-04
C51= B10*B7	1.00E-08	2.76E-04
C52= B10*B8	1.00E-10	2.76E-06
C53= B10*B12	1.00E-14	2.76E-10
C54= B10*B13	1.00E-08	2.76E-04
C55= B10*B14	1.00E-10	2.76E-06
C56= B10*B15	1.00E-08	2.76E-04
C57= B10*B16	1.00E-08	2.76E-04
C58= B10*B17	1.00E-10	2.76E-06
Total	9.07E-08	100%
<p>Probabilidad del evento culminante = $\sum_{i=1}^{58} = 3.62 E - 5$</p> <p>La frecuencia del evento culminante es = 3.62E-05</p>		

Cálculo de conjuntos mínimos y probabilidad de "Taponamiento por fluoruros en el FA-313A/B", y la contribución en por ciento de cada conjunto mínimo.

Conjunto mínimo	Probabilidad de ocurrencia del conjunto	Importancia del conjunto (%)
C1 B11	1.00E-03	5.85E-01
C2 B1*B3	1.00E-10	5.85E-08
C3 B1*B9	1.00E-10	5.85E-08
C4 B1*B10	1.00E-06	5.85E-04
C5 B1*B14	1.00E-08	5.85E-06
C6 B1*B15	1.00E-10	5.85E-08
C7 B1*B12	1.00E-08	5.85E-06
C8 B1*B13	1.00E-06	5.85E-04
C9 B4*B3	1.00E-08	5.85E-06
C10 B4*B9	1.00E-08	5.85E-06
C11 B4*B10	1.00E-04	5.85E-02
C12 B4*B14	1.00E-06	5.85E-04
C13 B4*B15	1.00E-08	5.85E-06
C14 B4*B12	1.00E-06	5.85E-04



Conjunto mínimo		Probabilidad de ocurrencia del conjunto	Importancia del conjunto (%)
C15	B4*B13	1.00E-04	5.85E-02
C16	B5*B3	1.00E-04	5.85E-02
C17	B5*B9	1.00E-08	5.85E-06
C18	B5*B10	1.00E-04	5.85E-02
C19	B5*B14	1.00E-06	5.85E-04
C20	B5*B15	1.00E-08	5.85E-06
C21	B5*B12	1.00E-06	5.85E-04
C22	B5*B13	1.00E-04	5.85E-02
C23	B6*B3	1.00E-08	5.85E-06
C24	B6*B9	1.00E-08	5.85E-06
C25	B6*B10	1.00E-04	5.85E-02
C26	B6*B14	1.00E-06	5.85E-04
C27	B6*B15	1.00E-08	5.85E-06
C28	B6*B12	1.00E-06	5.85E-04
C29	B6*B13	1.00E-04	5.85E-02
C30	B7*B3	1.00E-06	5.85E-04
C31	B7*B9	1.00E-10	5.85E-08
C32	B7*B10	1.00E-10	5.85E-08
C33	B7*B14	1.00E-08	5.85E-06
C34	B7*B15	1.00E-08	5.85E-06
C35	B7*B12	1.00E-08	5.85E-06
C36	B7*B13	1.00E-06	5.85E-04
C37	B8*B3	1.00E-10	5.85E-08
C38	B8*B9	1.00E-10	5.85E-08
C39	B8*B10	1.00E-06	5.85E-04
C40	B8*B14	1.00E-08	5.85E-06
C41	B8*B15	1.00E-10	5.85E-08
C42	B8*B12	1.00E-08	5.85E-06
C43	B8*B13	1.00E-06	5.85E-04
C44	B2*B3	1.00E-04	5.85E-02
C45	B2*B9	1.00E-08	5.85E-06
C46	B2*B10	1.00E-04	5.85E-02
C47	B2*B14	1.00E-06	5.85E-04
C48	B2*B15	1.00E-08	5.85E-06
C49	B2*B12	1.00E-06	5.85E-04
C50	B2*B13	1.00E-04	5.85E-02
Total		9.10E-04	100%
Probabilidad del evento culminante =		$\sum_{i=1}^{50} = 2.01 E - 3$	
La frecuencia del evento culminante es =		2.02E-03	



ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL FTA

Para el primer escenario se obtiene una probabilidad del evento culminante de $1.02E-1$, con una ocurrencia de $1.08E-1$ al año, esto nos indica que el riesgo no representa una gran amenaza a las instalaciones ya que es de tipo medio, pero se debe tomar en cuenta los eventos básicos como error humano y atoramiento por fluoruros ya que estos tienen una mayor importancia dentro de la serie de conjuntos y podrían llevar a la realización del evento final.

Considerando al escenario dos, este aun es menor que el anterior ya que su probabilidad es de $3.62E-5$, con una posibilidad de que ocurra en un año de $3.62E-5$, con esto podemos afirmar que el evento puede ocurrir debido a un mal mantenimiento del equipo así como un sobrecalentamiento del motor.

Finalmente el escenario tres nos indica que la probabilidad de que ocurra el evento culminante es de $2.01E-3$, mayor que el evento anterior, con una periodicidad de $2.02E-3$ al año, en este caso lo que produciría el evento sería un error humano.

Ya que un riesgo se compone de su probabilidad y su impacto, se puede indicar que en la sección de tratamiento de productos, el riesgo notable es poco probable y como los eventos básicos que conllevarían al siniestro son por lo general descuidos, falta de materiales o bien un mantenimiento menor al requerido, se recomienda, continuar con programas que puedan disminuir estos incidentes, procurar tener las refacciones adecuadas y verificar que cumplan con los estándares de calidad requeridos.

Con esta técnica, es posible identificar sucesos que podrían llevar a una pérdida no deseada y de esta manera se logra identificar el riesgo probable de ocurrencia dentro de la sección de tratamiento de productos, de la planta de alquilación.



4.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Para la determinación del análisis de consecuencias.

- a) Se contempló un tiempo máximo para la detección y control de la fuga de 10 minutos para las bombas, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo máximo para la detección del evento por parte del personal de PEMEX y tiempo que ocupa el personal de mantenimiento u operación para llegar al lugar exacto de la fuga y controlarla.
- b) Se consideró para las condiciones de Salina Cruz (Oaxaca) una temperatura ambiental media del área de 27 °C, temperatura máxima de 40 °C, una humedad relativa media anual de 78% y con velocidad del viento promedio de 9.70 m/s.
- c) El diámetro equivalente del orificio varía desde 3.17 mm (0.125") hasta 12.70 mm (0.5"); para todos los escenarios se considera un orificio de 0.50" de diámetro.

A continuación se describen los escenarios de incendio, explosión y dispersión de nube tóxica seleccionados, fundamentos y efectos, así como también los modelos de evaluación de riesgos usados para cada uno de ellos.

Tabla 4.7. Descripción de escenarios de incendio y explosión.

TIPO DE ESCENARIO	CAUSA Y FUNDAMENTO	EFECTOS CONSIDERADOS				MODELO DE EFECTO UTILIZADO
		RT	OP	P	T	
Fuga de propano en la bomba de propano producto GA-320A/B	La bomba de almacenamiento de propano al las esferas de almacenamiento puede presentar fugas por represionamiento en la descarga ya sea por bloqueos cerrados, por cierre de la válvula PV-31133 con afectaciones al sello mecánico o por empaque mal instalado o dañado.	X				Jet Fire
Fuga de butano en la bomba de butano producto GA-321A/B	La bomba de almacenamiento de propano al las esferas de almacenamiento puede presentar fugas por represionamiento en la descarga ya sea por bloqueos cerrados, por cierre de la válvula PV-31131 con afectaciones al sello mecánico o por empaque mal instalado o dañado.	X				Jet Fire

RT: Radiación Térmica

OP: Onda de Presión.

P: Projectiles.

T: Toxicidad



Los datos requeridos para cada escenario.

Tabal. 4.8. Datos para el escenario fuga de propano en la bomba de propano producto GA-320A/B.

PARÁMETRO	VALOR
Escenario	Fuga
Material	Propano (C ₃)
Temperatura de operación	98 °C
Presión de operación	16.2 Kg/cm ²
Masa de material	285.2802Kg
Humedad relativa	78%
Temperatura ambiente promedio	27°C
Temperatura ambiente máxima	40°C
Velocidad del viento mín.	5.4 km/hr.
Dirección del viento dominante/reinante	De N.E a S.O/De S.E a N.O

Tabla 4.9. Datos para el escenario fuga de butano en la bomba butano producto GA-321A/B.

PARÁMETRO	VALOR
Escenario	Fuga
Material	Butano (C ₄)
Temperatura de operación	98 °C
Presión de operación	14.8 Kg/cm ²
Masa de material	1706.268 Kg
Humedad relativa	78%
Temperatura ambiente promedio	27°C
Temperatura ambiente máxima	40°C
Velocidad del viento mín.	5.4 km/hr.
Dirección del viento dominante/reinante	De N.E a S.O/De S.E a N.O



ESCENARIO No. 1: Fuga de Propano en la bomba GA-320A/B.

Los resultados del cálculo del escenario de fuga de propano en la bomba GA-320, ya sea por daños al sello mecánico provocado por un presionamiento en la descarga o por empaques en mal estado o mal instalados son las siguientes. La duración de la descarga puede ser cambiada según la respuesta para mitigar la fuga, para este caso se consideró que la respuesta será de 10 minutos, ya que durante este tiempo se espera que se controle la fuga, se estima un flujo de la fuga de 4.75467E-001 kg/s por un orificio de 0.5 pulgadas de diámetro.

Velocidad de descarga de propano en la bomba GA-320.

Flujo de descarga	4.75467E-001 kg/seg
Duración de descarga	600 seg (10 min)
Cantidad descargada (inventario)	285.2802 Kg
Velocidad en el orificio	247.50 m/s
Estado del material	Líquido

Bajo las condiciones de operación de la bomba, la simulación estima el riesgo de incendio. Durante la fuga se puede presentar un dardo de fuego (Jet Fire), si se encuentra un punto de ignición aunque de acuerdo a las condiciones de la planta esto es improbable, sin embargo la posibilidad existe y de ocurrir la radiación los radios de afectación se muestran a continuación:

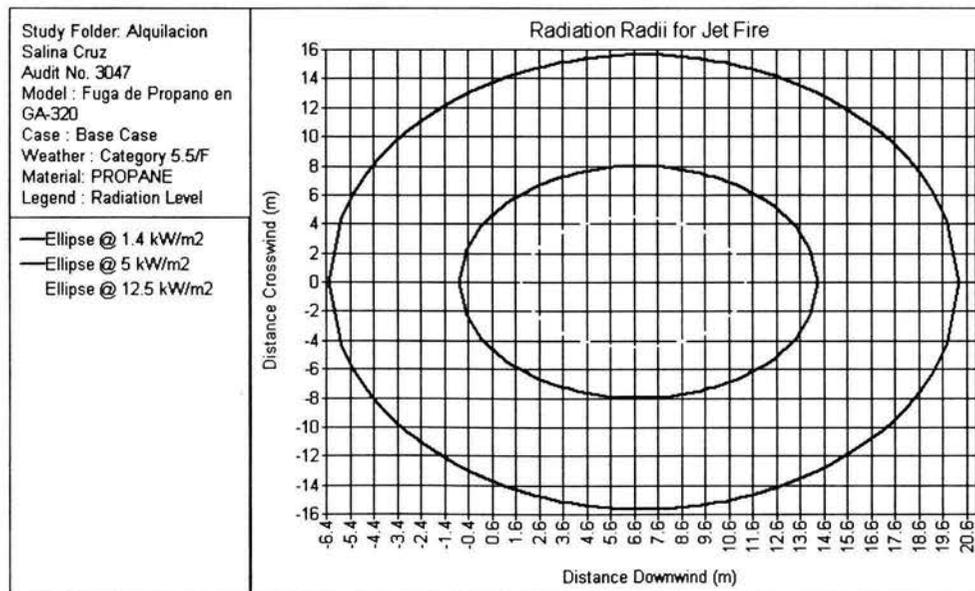


Figura. 4.1. Radios de afectación por fuga de propano de la bomba GA-320A/B.



ESCENARIO No. 2; Fuga de Butano en la bomba GA-321A/B.

Similarmente los resultados del cálculo del escenario de fuga de butano en la bomba GA-321, ya sea por daños al sello mecánico provocado por un presionamiento en la descarga o por empaques en mal estado o mal instalados son las siguientes. La duración de la descarga puede ser cambiada según la respuesta para mitigar la fuga, para este caso se consideró que la respuesta será de 10 minutos, ya que durante este tiempo se espera que se controle la fuga, se estima un flujo de la fuga de 2.84378 kg/s por un orificio de 0.5 pulgadas de diámetro.

Velocidad de descarga de butano en la bomba GA-321.

<i>FLUJO DE LA DESCARGA</i>	2.84378 KG/S
<i>Duración de descarga</i>	600 seg (10 min)
<i>Cantidad descargada (inventario)</i>	1706.268
<i>Velocidad en el orificio</i>	79.32 m/s
<i>Estado del material</i>	Líquido

Bajo las condiciones de operación de la bomba, la simulación estima el riesgo de fuga, con la posibilidad de desencadenar un dardo de fuego (Jet Fire), si la fuga encuentra un punto de ignición. De acuerdo a las condiciones de la planta es poco probable esto, sin embargo la posibilidad existe y de ocurrir el incendio los radios de radiación afectarían ciertas partes de la planta y serian los siguientes.

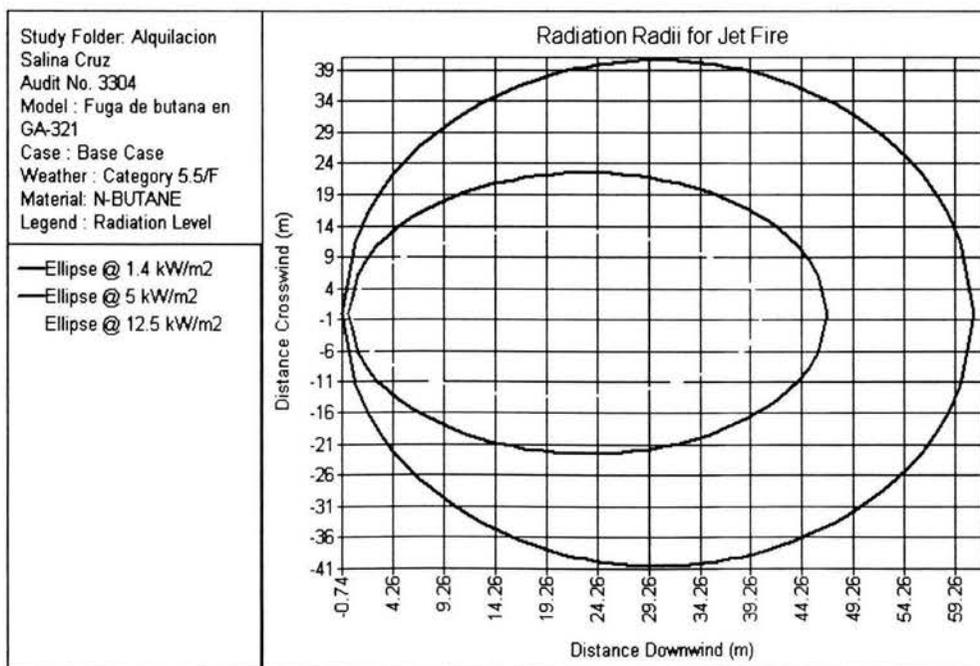


Figura. 4.2. Radios de afectación por fuga de butano de la bomba GA-321A/B.



ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL AC

Por medio del análisis de consecuencias podemos observar, que tan grande es la posibilidad de que ocurra un evento como el Jet Fire, tanto en la fuga de propano como en la de butano, y las consecuencias que alcanzaría el desastre al graficar las dimensiones de la radiación térmica sobre el plano de localización de la planta, con esto se puede indicar los equipos o bien las zonas que serian afectadas si llegara a efectuarse el suceso, con esto el personal indicado puede tomar decisiones sobre las medidas que se deben tomar en caso de que se presentara el accidente y de esta manera minimizar los riesgos y la probabilidad de pérdidas tanto económicas, como naturales y humanas.



CAPÍTULO

CONCLUSIONES



5. CONCLUSIONES

La necesidad de minimizar la cantidad y severidad de los accidentes que resultan en la fuga de sustancias peligrosas que puedan provocar accidentes, sólo se alcanza identificando y eliminando o bien controlando las condiciones que puedan dar origen a los eventos peligrosos.

El análisis de riesgos es un proceso para determinar las exposiciones y los posibles puntos débiles. Tiene como ventaja proporcionar un marco de referencia efectivo para asignar prioridades a los problemas, asignar recursos y reducir riesgos. Pero su limitante más importante para la comprensión del potencial pleno de evaluaciones de riesgo es el escaso número de profesionales que tienen amplia capacitación y la perspectiva necesaria para trascender el enfoque de libro de cocina y concentrarse en los problemas críticos.

La evaluación proporciona una medida relativa de las condiciones y las actividades que impactan las fallas potenciales a lo largo del circuito de tratamiento. Esta evaluación proporciona una base racional para la priorización de las medidas de mitigación para reducir los riesgos.

Esto fue realizado para remover el máximo de subjetividad posible y, de esta manera, proporcionar un análisis lo más real posible. Con respecto al análisis, se considera que el riesgo total es de un nivel medio y que es más probable que existan ocurrencias durante los procesos de mantenimiento o bien durante la colocación de algún equipo, que puedan afectar a los equipos existentes.

Consecuentemente, se debe implementar un programa más efectivo de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones, además de los planes y procedimientos descritos como parte de la mitigación de riesgos. Con respecto a las operaciones, se consideró que el riesgo total tiene un nivel medio. Se consideraron áreas sensibles a aquéllas donde las actividades de terceros son elevadas.

Los impactos potenciales de fugas o derrames fueron considerados promedio. Este hecho se debe al factor de dispersión y al factor del producto. El condensado también contiene químicos carcinógenos que representan un riesgo a la salud. Las fugas que ocasionen incendios tienen una mayor probabilidad de ocurrencia cerca fuentes de ignición.

La implementación de las medidas de mitigación de riesgos son necesarias para asegurar la seguridad de ambos, la vida humana y el medio ambiente y los recursos culturales a lo largo de la operación de la planta.



Para realizar el análisis de riesgos se requirió que los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) estuvieran actualizados, por lo que mediante el recorrido en campo se revisaron estos y una vez actualizados se emplearon para el análisis de riesgos

A grandes rasgos se logró realizar el análisis de riesgos a la sección de tratamiento de productos, donde se determinaron algunas acciones para la toma de decisiones para la prevención de accidentes, mediante la utilización de la técnica HazOp. En base a esto se obtuvieron la probabilidad y la frecuencia de los árboles de fallas, identificando las combinaciones de eventos intermedios y básicos que llevarían al evento riesgoso.

Específicamente el HazOp indica que para la línea de propano, el riesgo de sufrir un percance es mínimo, por lo que es recomendable que se siga con los requerimientos necesarios para su buen funcionamiento; con lo que respecta a las secciones de tratamiento de butano y propano productos, ambas indican que son aceptables como están, pero debido a que el estudio mostró un riesgo de clase B, es necesario mitigarlo mediante controles hasta minimizarlo lo más que se pueda.

A partir del HazOp, se seleccionaron los escenarios para cálculo del FTA, que en general indica que en la sección de tratamiento de productos, el riesgo es poco probable; por lo tanto se recomienda continuar con programas que puedan disminuir los eventos básicos.

Finalmente el análisis de consecuencias muestra que es posible que se lleve a cabo un Jet Fire tanto con el propano producto como butano producto, y que el área de afectación sólo se encuentra en la refinería, por lo que se recomienda llevar a cabo todas las medidas de seguridad necesarias, para que este evento se pueda prevenir.

La planta de alquilación es una zona peligrosa debido principalmente al catalizador que utiliza el HF, además por los productos y subproductos que genera, en específico las ASA's; actualmente existen estudios sobre catalizadores sólidos ácidos que no generan el aceite soluble en ácido, por lo que sería muy interesante realizar nuevas investigaciones aplicadas a la planta de alquilación

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



BIBLIOGRAFÍA

- 1) Grimaldi-Simonds, "La seguridad industrial, su administración" Edt. Alfaomega, México, D. F. (1991).
- 2) Ramírez Cavaza, Dr Cesar, "La seguridad industrial", Noriega Editores, Editorial LIMUSA, México (1991).
- 3) Santamaría, Ramiro, J. M. y Braña-Aísa, P. A. "Análisis y reducciones de riesgos en la industria química", Edt. MAPFRE, España (1994).
- 4) Taller Sobre "Análisis de riesgo y operabilidad" UNAM Facultad de Química (2002).
- 5) Manual de operación de la planta de Alquilación de la Refinería Antonio Dovalí Jaime, ubicada en Salina Cruz, Oaxaca.
- 6) Kolluru, Rao. "Manual de Evaluación y administración de Riesgos" Edt. McGRAW-HILL, México, D. F. (1998).
- 7) Manual de Análisis de Riesgos, documento número 312-40900-03-229, emitido por la SITSI.

Cruz, Gómez, J., De la Cruz, Cornelio, et all. "Análisis de riesgos de procesos (ARP): Un esquema de mejora de la técnica HazOp", Tecnol. Ciencia, Ed. (IMIQ) 15(2): 49-60, 2000.

Cruz, Gómez, J., De la Cruz, Cornelio. "Using Operating and Safety Limits to Create Safety Procedures" Process Safety Progress (Vol.21, No.2).

PAGINAS WEB

- a) http://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_conse/Metodos.htm#modelos
- b) <http://www.heuristicos.com/scr/hazopconceptos.htm>
- c) <http://ingenet.ulpgc.es/~ablesa/index.html>



- d) <http://www.petrolatin.com/ci/ambiente/7375058.asp#1>
- e) www.feteugt.net/riscos_laborals/guias/evaluacion.htm
- f) <http://it.unex.es/sypi/temas/tema2.pdf>

OTRAS REFERENCIAS

Últimos accidentes ocurridos:

CSB (Chemical Safety and Hazard Investigation Board)

<http://www.chemsafety.gov/circ/>

E-RISC (Raccolta Incidenti Sostanze Chimiche), versión italiana del CSB

<http://www.eidos.it/e-risc/main.htm>

AcuSafe (The Internet Resource for Safety & Risk Management Information),
resúmenes de accidentes industriales en todo el mundo. Junio de 2001

<http://www.acusafe.com/Newsletter/Stories/0601News-MonthlyIncidents.htm>

ility Engineering - Incidents History, resúmenes de accidentes de industrias químicas,
con revisión mensual

<http://www.saunalahti.fi/ility/IncidentHistory.htm>

Búsqueda de accidentes:

MAHB (Major Accident Hazards Bureau)

<http://mahbsrv.jrc.it/mars/AccSearchStdForm.html>

South Australian CSF (Country Fire Service)

<http://www.cfs.org.au/news/frames2.html>

Artículos de prensa:

Planet Ark's daily Reuters World Environment News

<http://www.planetark.org/dailynewshome.cfm>

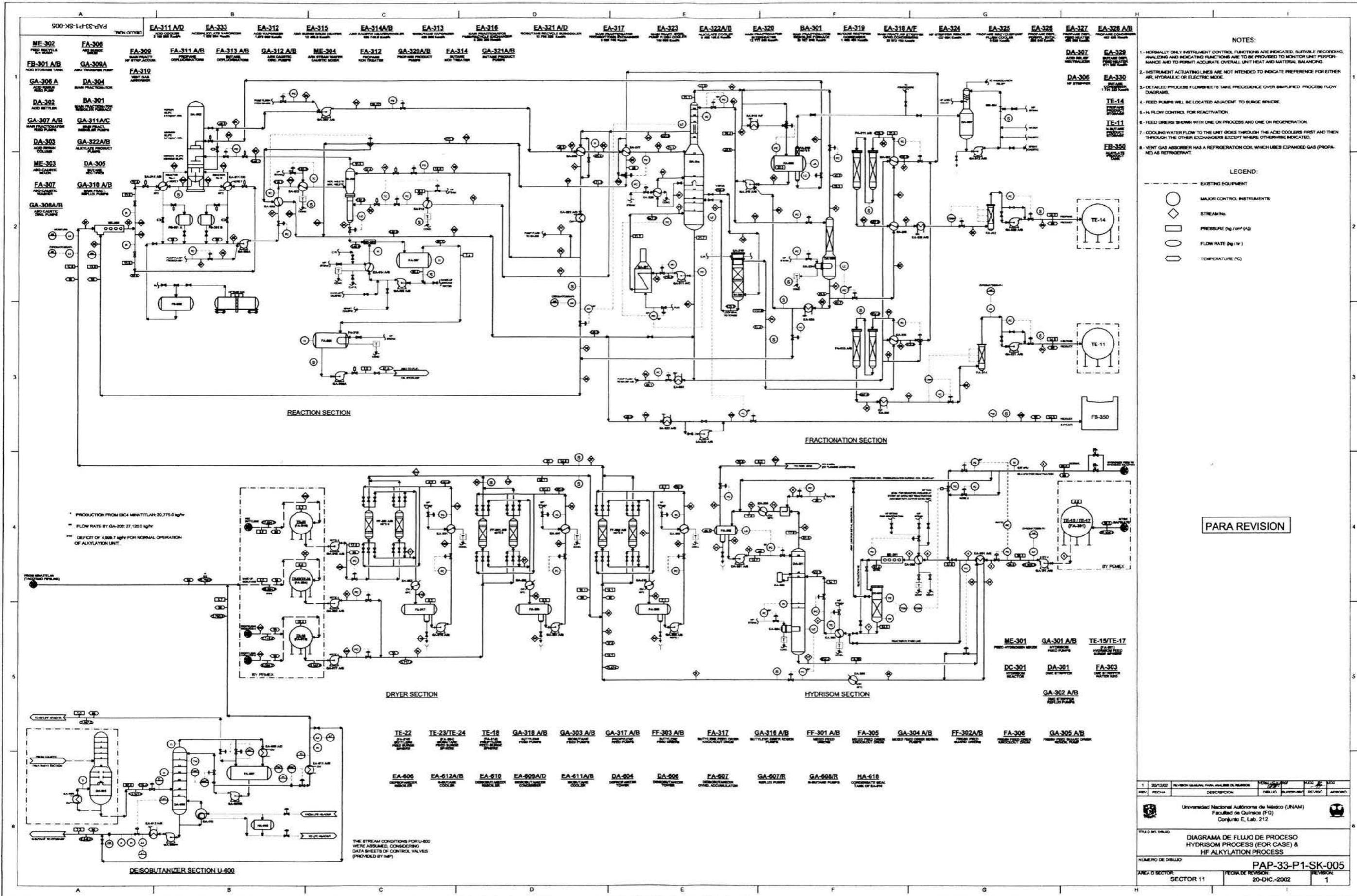
Noticias de prensa sobre accidentes ocurridos: Vea la información relativa a los últimos accidentes ocurridos.



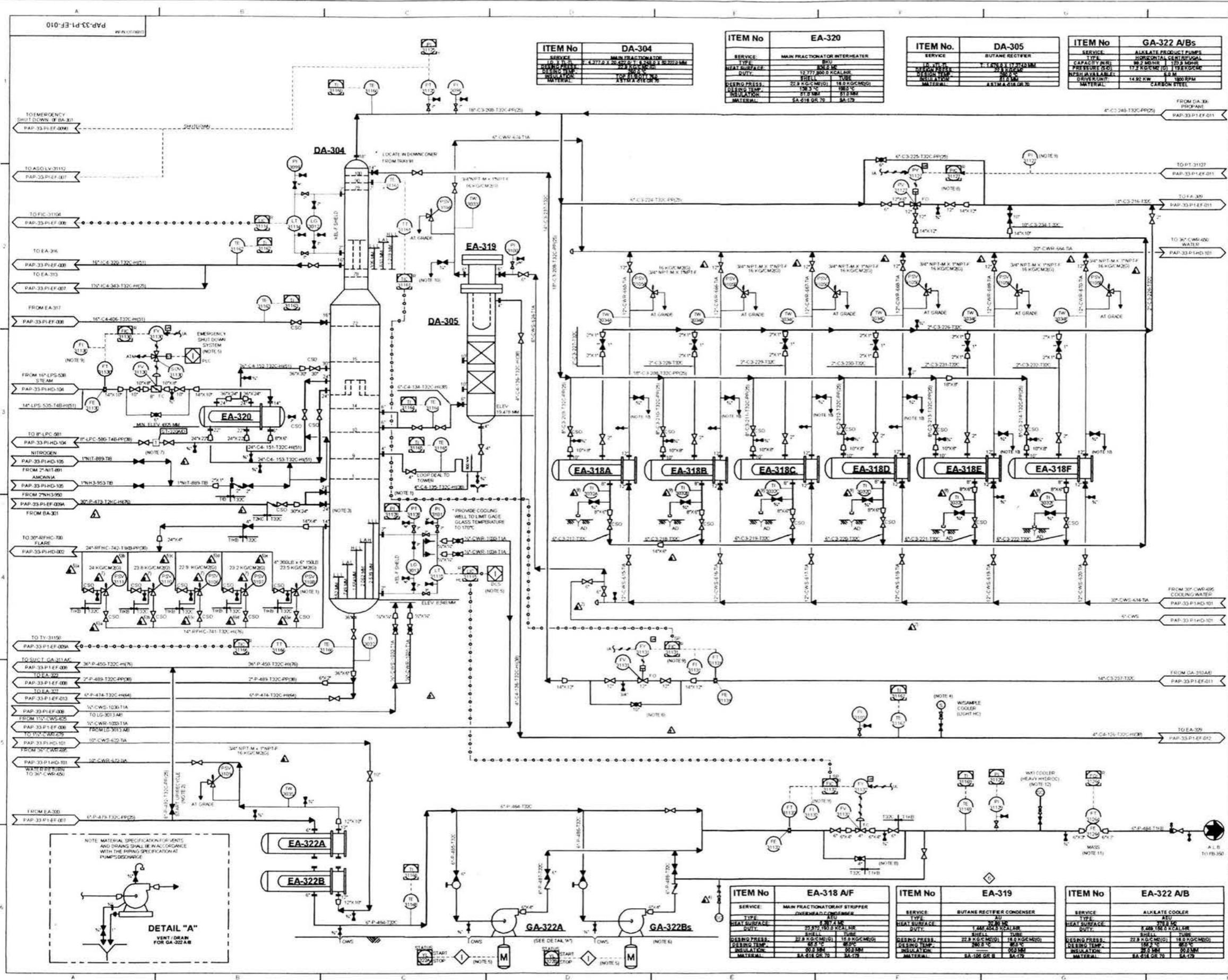
APÉNDICE

A

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
DTI, FRACCIONADORA PRINCIPAL Y AGOTADORA DE HF 1/2
DTI; FRACCIONADORA PRINCIPAL Y AGOTADORA DE HF 2/2
DTI; TRATADORES DE PROPANO Y BUTANO 1/2
DTI; TRATADORES DE PROPANO Y BUTANO 2/2
FTA, ALTA PRESIÓN EN LA DA-306
FTA, INCENDIO EN LA BOMBA GA-320 A/B
FTA, TAPONAMIENTO POR FLUORUROS EN EL FA-313 A/B
AC, FUGA DE PROPANO
AC, FUGA DE BUTANO



1	20/12/02	REVISION GENERAL PARA ANALISIS DE REVISION	MEXQUILIAN	ALDO	300
REV.	FECHA	DESCRIPCION	DEBILLO	AUTOPROBAC	APPROBO
<p>Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E, Lab. 212</p>					
<p>TITULO DEL DIBUJO: DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO HYDRISOM PROCESO (EOR CASE) & HF ALKYLATION PROCESO</p>					
<p>NUMERO DE DIBUJO: PAP-33-P1-SK-005</p>				<p>REVISION: 1</p>	
<p>AREA O SECTOR: SECTOR 11</p>		<p>FECHA DE REVISION: 20-DIC-2002</p>		<p>REVISION:</p>	



ITEM No	DA-304
SERVICE	MAIN FRACTIONATOR
TYPE	FRAC
HEAT SURFACE	12,777.800 K CAL/H
DIAMETER	12,777.800 K CAL/H
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70

ITEM No	EA-320
SERVICE	MAIN FRACTIONATOR INTERHEATER
TYPE	FRAC
HEAT SURFACE	12,777.800 K CAL/H
DIAMETER	12,777.800 K CAL/H
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70

ITEM No.	DA-305
SERVICE	BUTANE RECTIFIER
TYPE	FRAC
HEAT SURFACE	12,777.800 K CAL/H
DIAMETER	12,777.800 K CAL/H
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70

ITEM No	GA-322 A/Bs
SERVICE	ALKYLATE PRODUCT PUMPS
TYPE	PUMP
CAPACITY (M3)	17.7 KGM/200
PRESSURE (PSI)	17.7 KGM/200
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70

- NOTES**
- RELIEF VALVE SHOULD BE INSTALLED AS CLOSE AS PRACTICAL TO VESSEL WITHIN DEAD LEGS INSULATION IN RELIEF PUMPS MAY BE REQUIRED TO PREVENT CONDENSATION AND SEVERE CORROSION FROM OCCURRING.
 - DESIGNED FOR ALKYLATE RATE PRODUCT.
 - SYMMETRICAL PIPING.
 - FOR SAMPLE CONNECTION ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAILS IN DRAWING (PHILLIPS SPECIFICATIONS).
 - LOCK CONTROL INTERCONNECTION SEE DWG PIP-33-P1-EF-011.
 - FOR VENT AND DRAIN ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAILS IN DWG PIP-33-P1-EF-011.
 - FOR STEAM TRAP ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAILS IN DWG PIP-33-P1-EF-011.
 - BY PASS ON ACID SERVICE CONTROL VALVES STATION SHALL BE INSTALLED SILENT DRAINING IN BOTH DIRECTIONS.
 - LOCATE NEAR THE CORRESPONDENT CONTROL VALVE.
 - SAMPLE CONNECTION FOR pH CHECK.
 - THIS INSTRUMENT SHALL BE LOCATED INSIDE HF ALKYLATION UNIT BATTERY LIMIT.
 - FOR SAMPLE CONNECTION ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAIL 3 IN DWG PIP-33-P1-EF-011.
 - THE PIPING SPECIFICATION MUST SHALL APPLY ONLY ON REBOILER CIRCUIT.
 - OPERABLE FROM FLOOR.
 - DEBUJ ORIGINAL POR CHYCOLOSA.

- LISTA DE CAMBIO REV B**
- SE ELIMINA EL PSHR 3115 Y EL PSHR 3116 DE LA LINEA DE 10" C.W.S. 132C-PR02 POR LO TANTO LA LINEA DE TRANSMISION ELECTRICA SE CONECTA AL TRANSMISOR DE PRESION P-3112.
 - SE AGREGO UN DISPARO DE ESD DE DADA D.E. QUE SALE DE LA LINEA 10" C.W.S. 132C-PR02 Y SE CONECTA A LA SECCION DE LA G.A. 321. MODIFICACION SEGUN EL MEDIO ALGORITMO SUMINISTRADO EN AGUA DE ENFRIAMIENTO AL CONDENSADOR DE RECTIFICACION DE BUTANOS EA-319.
 - LA LINEA DE 10" DE DIAM QUE SALE DE LA LINEA 10" C.W.S. 132C Y SE CONECTA EN EL DIRECTO EN CAMPO SE ENCUENTRA CONECTADA A LA LINEA DE 10" C.W.S. 132C.
 - SE AGREGO UNA LINEA DE TOMADA DE MUESTRA DE ALKYLADO DE 1/2" QUE SALE DE LA LINEA DE 10" C.W.S. 132C Y SE CONECTA EN LA LINEA DE 10" C.W.S. 132C.
 - LAS ESPECIFICACIONES DE LINEAS LAS SIGUIENTES:
 10" C.W.S. 132C-PR02
 10" C.W.S. 132C-PR03
 10" C.W.S. 132C-PR04
 10" C.W.S. 132C-PR05
 10" C.W.S. 132C-PR06
 10" C.W.S. 132C-PR07
 - LAS ESPECIFICACIONES DE LINEA CORRESPONDIENTES SON:
 10" C.W.S. 132C-PR04
 10" C.W.S. 132C-PR05
 10" C.W.S. 132C-PR06
 10" C.W.S. 132C-PR07
 - LOS DIAMETROS DE ENTRADA Y SALIDA DE LAS PSV SON 4" 300LB Y 6" 150LB P.
 - SE AGREGO NOTA 14.
 - SE CAMBIARON LOS TAGS DE LOS R. DE 300 LB POR 300 LB.

REV	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	REVISADO	APROBADO
01	07/02/96	GENERAL REVISION			
02	12/20/2002	REVISION GENERAL PARA ANALISIS DE RIESGOS			

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Química (FQ)
 Conjunto E, Lab. 212

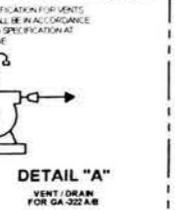
ALKYLATION PLANT
PIPING & INSTRUMENTS DIAGRAM
MAIN FRACTIONATOR AND HF STRIPPER-1/2

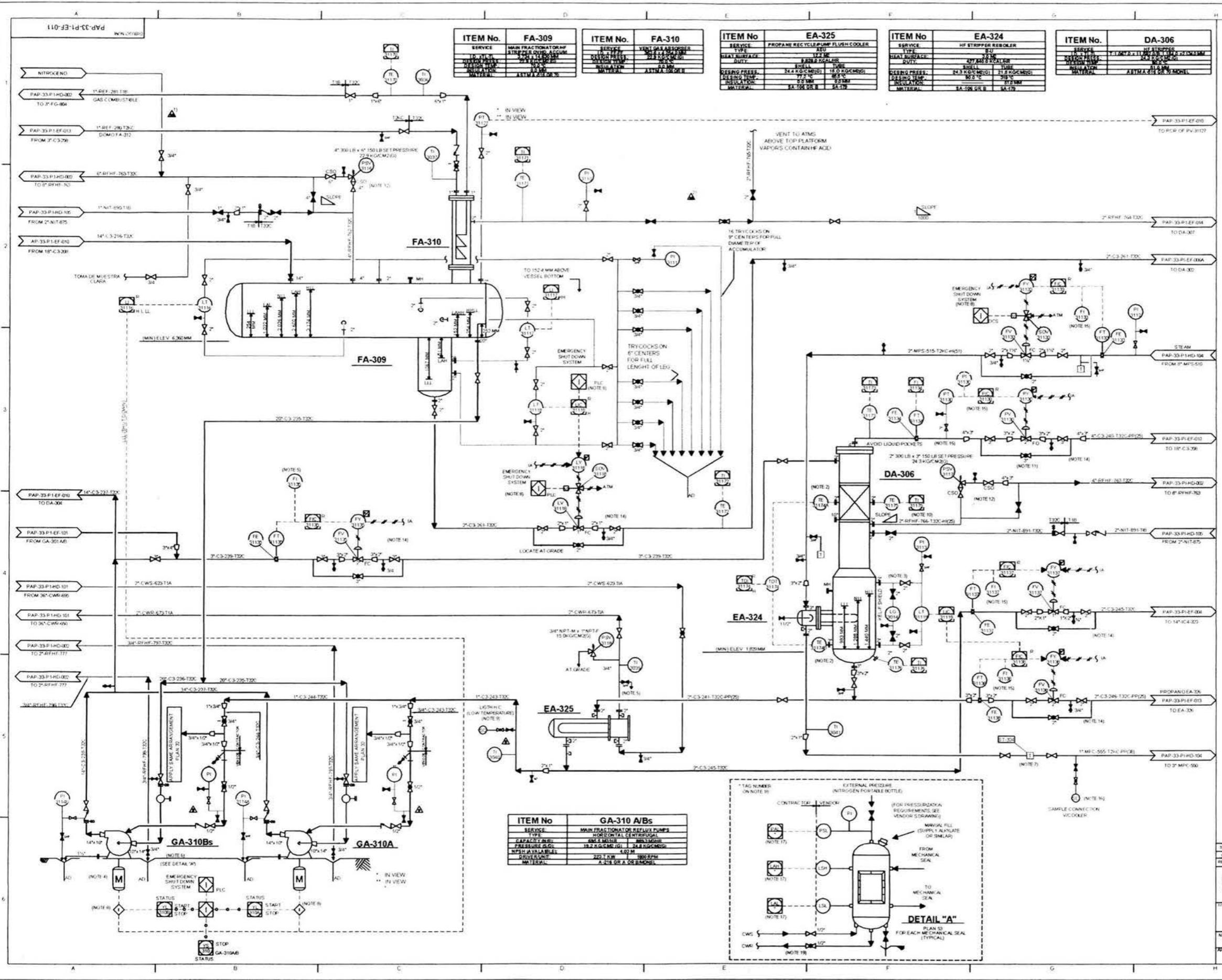
NUMERO DE DISEÑO: **PAP-33-P1-EF-010**
 AREA O SECTOR: **SECTOR 11** FECHA DE REVISION: **20-DIC-2002** REVISION: **8**

ITEM No	EA-318 A/F
SERVICE	MAIN FRACTIONATOR HF STRIPPER OVERHEAD CONDENSER
TYPE	FRAC
HEAT SURFACE	12,777.800 K CAL/H
DIAMETER	12,777.800 K CAL/H
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70

ITEM No	EA-319
SERVICE	BUTANE RECTIFIER CONDENSER
TYPE	FRAC
HEAT SURFACE	12,777.800 K CAL/H
DIAMETER	12,777.800 K CAL/H
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70

ITEM No	EA-322 A/B
SERVICE	ALKYLATE COOLER
TYPE	FRAC
HEAT SURFACE	12,777.800 K CAL/H
DIAMETER	12,777.800 K CAL/H
INSULATION	TOP STRIP 24
MATERIAL	SA 516 GR 70





ITEM No.	FA-309
SERVICE	MAIN FRACTIONATOR/REFLUX STRIPPER
TYPE	VERTICAL COLUMN
DIAMETER	24.4 (96.1) IN
HEIGHT	110.0 FT
INSULATION	ASBESTOS
MATERIAL	ASTM A 240 SS 304

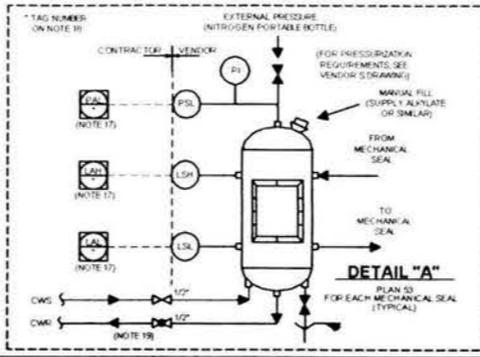
ITEM No.	FA-310
SERVICE	REFLUX STRIPPER
TYPE	VERTICAL COLUMN
DIAMETER	24.4 (96.1) IN
HEIGHT	110.0 FT
INSULATION	ASBESTOS
MATERIAL	ASTM A 240 SS 304

ITEM No.	EA-325
SERVICE	PROPANE RECYCLE PUMP FLUSH COOLER
TYPE	COOLER
DIAMETER	12.0 IN
HEIGHT	8.0 FT
INSULATION	ASBESTOS
MATERIAL	ASTM A 240 SS 304

ITEM No.	EA-324
SERVICE	HF STRIPPER REBOILER
TYPE	REBOILER
DIAMETER	24.4 (96.1) IN
HEIGHT	110.0 FT
INSULATION	ASBESTOS
MATERIAL	ASTM A 240 SS 304

ITEM No.	DA-306
SERVICE	DA-306
TYPE	DA-306
DIAMETER	24.4 (96.1) IN
HEIGHT	110.0 FT
INSULATION	ASBESTOS
MATERIAL	ASTM A 240 SS 304

ITEM No.	GA-310 A/Bs
SERVICE	MAIN FRACTIONATOR/REFLUX PUMPS
TYPE	HORIZONTAL CENTRIFUGAL
DIAMETER	18.0 (60.0) IN
HEIGHT	24.0 (78.0) IN
INSULATION	ASBESTOS
MATERIAL	ASTM A 240 SS 304



NOTES

- TEMPERATURE ELEMENTS FOR TDT SHOULD BE 500 OHMS PLATINUM (RTD'S)
- SEE HF 1012 FOR BRICK DETAIL
- STAN BY PUMP ON SEPARATE ELECTRICAL FEEDER
- SAMPLE CONNECTION FOR TDT CHECK OF THE COOLING WATER RETURN
- FOR VENT AND DRAIN ARRANGEMENT SEE HF-SERVICE PHILLIPS SPECIFICATION (AWG HF-2000 AND HF-1014) GROUND PLATE DRAIN PIPING ACCORDING TO REFINERY PRACTICE
- FOR STEAM TRAPS ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAIL 1 IN DWG. PIP-33-P1-EF-001
- LOGIC CONTROL INTERCONNECTION (SEE DWG. PIP-33-JS-DW-808/15066989)
- FOR SAMPLE CONNECTION ARRANGEMENT, SEE THE TYPICAL DETAIL 1F SHOW IN DRAWING. PIP-33-P1-EF-008
- RELIEF VALVE SHOULD BE INSTALLED AS CLOSE AS PRACTICAL TO VESSEL WITH NO DEAD LEGS. INSULATION OF RELIEF PIPING MAY BE REQUIRED TO PREVENT CONDENSATION AND SEVERE CORROSION FROM OCCURRING.
- LOCATE IN AN ACCESSIBLE PLACE
- THE ACID RELIEF VALVE AND ITS PASS SHALL BE INSTALLED SELF DRAINING TO THE ACID RELIEF HEADER
- BY PASS ON ACID SERVICE CONTROL VALVES STATION SHALL BE INSTALLED SELF DRAINING IN BOTH DIRECTIONS
- LOCATED NEAR THE CORRESPONDENT CONTROL VALVE
- SAMPLE CONNECTION FOR pH FOR ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAIL 3 IN DWG. PIP-33-P1-EF-001
- FOR CONTROL LOOP SEE DRAWINGS FROM PIP-33-JS-DW-245 TO 248
- INSTRUMENTS TAG FOR GA-310 ARE PLANS 53

GA-310A	GA-310B
PAL-311150-14-SEAL	PAL-311150-14-SEAL
PAL-311150-04-SEAL	PAL-311150-04-SEAL
LAH-311150-14-SEAL	LAH-311150-14-SEAL
LAH-311150-04-SEAL	LAH-311150-04-SEAL
LAL-311150-14-SEAL	LAL-311150-14-SEAL
LAL-311150-04-SEAL	LAL-311150-04-SEAL

- LISTA DE CAMBIOS REV. 10**
- SE AGREGO UNA LINEA DE 3/4 DE NITROGENO QUE SE CONECTA A LA LINEA 6-RHF-763-T30C
 - TI-3038 SE ENCUENTRA FUERA DE OPERACION
 - SE AGREGO NOTA 20

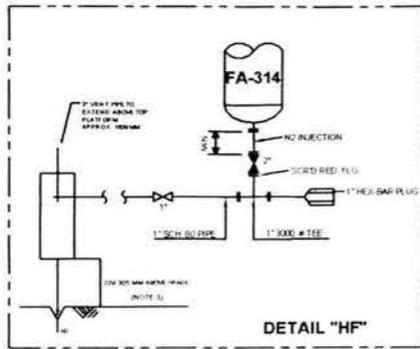
NO.	FECHA	REVISION GENERAL PARA ANALISIS DE RIESGO	ISS	DESIGN	REV	APPROB
1	20-02-2002	GENERAL REVISION	ISS	DESIGN	REV	APPROB

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Química (FQ)
 Conjunto E, Lab. 712

ALKYLATION PLANT
PIPING & INSTRUMENTS DIAGRAM
MAIN FRACTIONATOR AND HF STRIPPER -2/2-

NUMERO DE DIBUJO: **PAP-33-P1-EF-011**
 AREA/SECTOR: **SECTOR 11** FECHA DE REVISION: **20-02-2002** REVISION: **10**

ITEM No.	GA-321 A/Bs
SERVICE:	BUTANE PRODUCT PUMPS
TYPE:	HORIZONTAL CENTRIFUGAL
CAPACITY (M3):	18.0 (M3/H) 23.7 (M3/H)
PRESSURE (B.G.):	18.2 K.G.C/M2(G) 29.8 K.G.C/M2(G)
NPSH (AVAILABLE):	4.9 M
DRIVER UNIT:	37.3 KW 3600 RPM
MATERIAL:	CARBON STEEL



ITEM No.	EA-329
SERVICE:	BUTANE DEFLUORINATOR FEED HEADER
TYPE:	ASU
HEAT SURFACE:	39.2 M2
DUTY:	611,896.0 KCAL/H
DESIGN PRESS:	22.9 K.G.C/M2(G) 18.0 K.G.C/M2(G)
DESIGN TEMP:	220 °C 200 °C
INSULATION:	76.0 MM 76.0 MM
MATERIAL:	SA-106 GR. B SA-179

ITEM No.	EA-330 A/B
SERVICE:	BUTANE CONDENSER
TYPE:	ASU
HEAT SURFACE:	116.4 M2
DUTY:	1,793,222.0 KCAL/H
DESIGN PRESS:	22.9 K.G.C/M2(G) 18.0 K.G.C/M2(G)
DESIGN TEMP:	200 °C 90.0 °C
INSULATION:	25.0 MM 0.0 MM
MATERIAL:	SA-616 GR. 70 SA-179

ITEM No.	FA-314
SERVICE:	BUTANE KOH TREATER
LD. X TL-TL:	1,448 X 5,791 MM
DESIGN PRESS:	22.9 K.G.C/M2(G)
DESIGN TEMP:	200 °C
INSULATION:	0.0 MM
MATERIAL:	ASTM A-616 GR. 70 MONEL

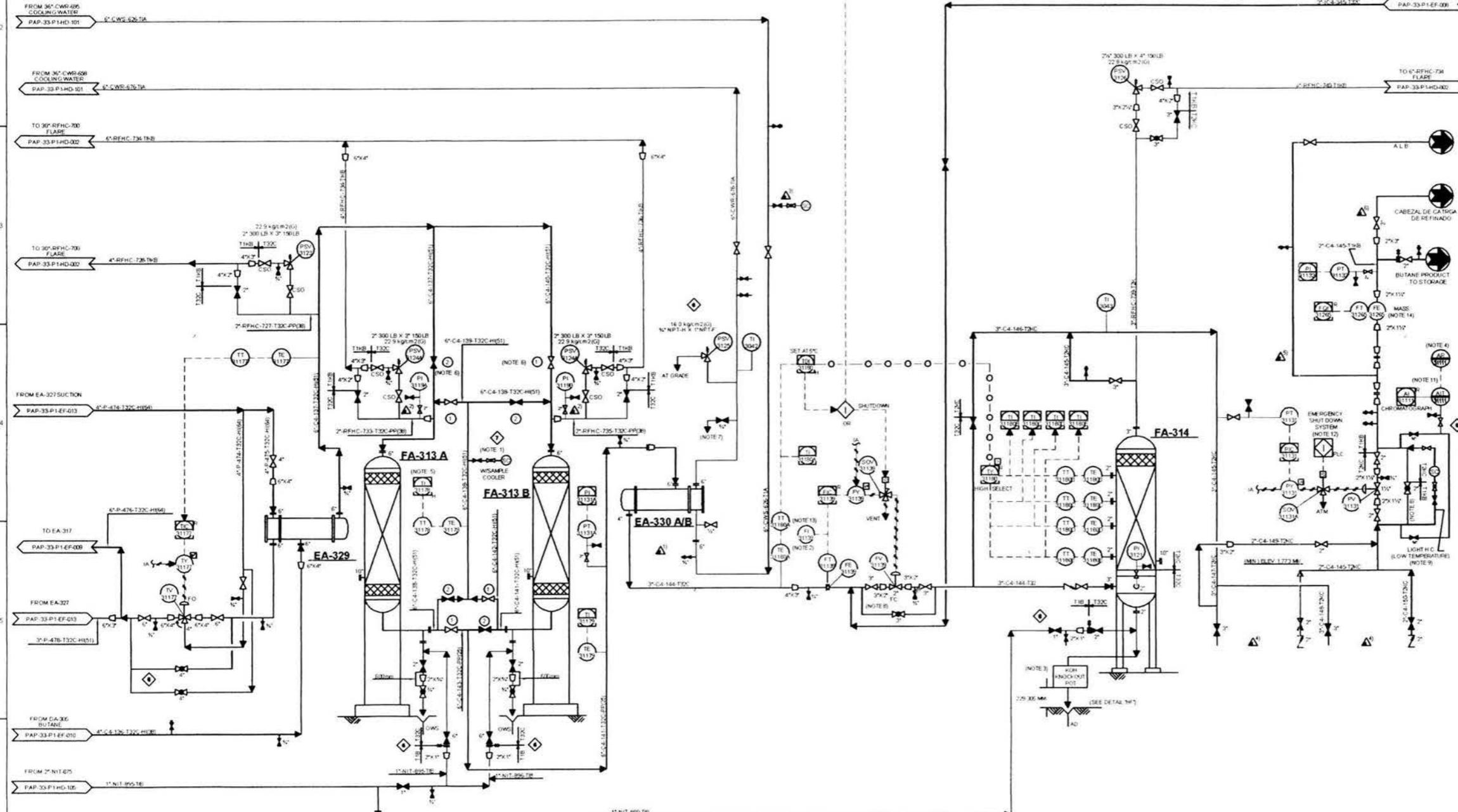
ITEM No.	FA-313 A/B
SERVICE:	BUTANE DEFLUORINATORS
LD. X TL-TL:	1,361 X 7,925 MM
DESIGN PRESS:	22.9 K.G.C/M2(G)
DESIGN TEMP:	220 °C
INSULATION:	76 MM
MATERIAL:	ASTM A-616 GR. 70 MONEL

NOTES

- SAMPLE CONNECTION WITH SAMPLE COOLER (SEE DETAIL DRAWING # 300)
- LOCATE IN VIEW OF BYPASS GLOBE VALVE OF THE CONTROL VALVE V3113
- TO VON KNOCK-OUT POT (SEE DWG. HF-110, INCLUDED IN PROCESS DESIGN PACKAGE (PDC))
- 'A/B' SHALL BE MULTI-TAGGED BETWEEN MBE RAFFINATE FEED TO ALKYLATION UNIT (SEE DWG. PAP-33-P1-EF-001) MIXED FRESH FEED (SEE DWG. PAP-33-P1-EF-004) AND N-BUTANE PRODUCT
- SET AT 4% ABOVE INLET TEMPERATURE
- VALVES AROUND DEFLUORINATOR SHALL BE ARRANGED TO BE HANDLED FROM THE SAME STAGE
- SAMPLE CONNECTION FOR 'W' CHECK OF THE COOLING WATER RETURN
- BY PASS ON ACID SERVICE CONTROL VALVES STATION SHALL BE INSTALLED SELF DRAINING IN BOTH DIRECTIONS
- FOR SAMPLE CONNECTION ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAIL 2 IN DWG. PAP-33-P1-EF-001
- FOR ANALYZER CONNECTION ARRANGEMENT SEE TYPICAL DETAIL 4 IN DWG. PAP-33-P1-EF-001
- FOR ANALYZER CONNECTION ARRANGEMENT (LOCATED IN ANALYZER ROOM) SEE TYPICAL DETAIL 6 IN DWG. PAP-33-P1-EF-001
- LOGIC CONTROL WATER CONNECTION, SEE DWG. PAP-33-B-DW-014 (METHANOL)
- LOCATE NEAR THE CORRESPONDENT CONTROL VALVE
- THIS INSTRUMENT SHALL BE LOCATED INSIDE THE ALKYLATION UNIT BATTERY LIMIT
- DRUK ORIGINAL REALIZADO POR OXYGON SPA

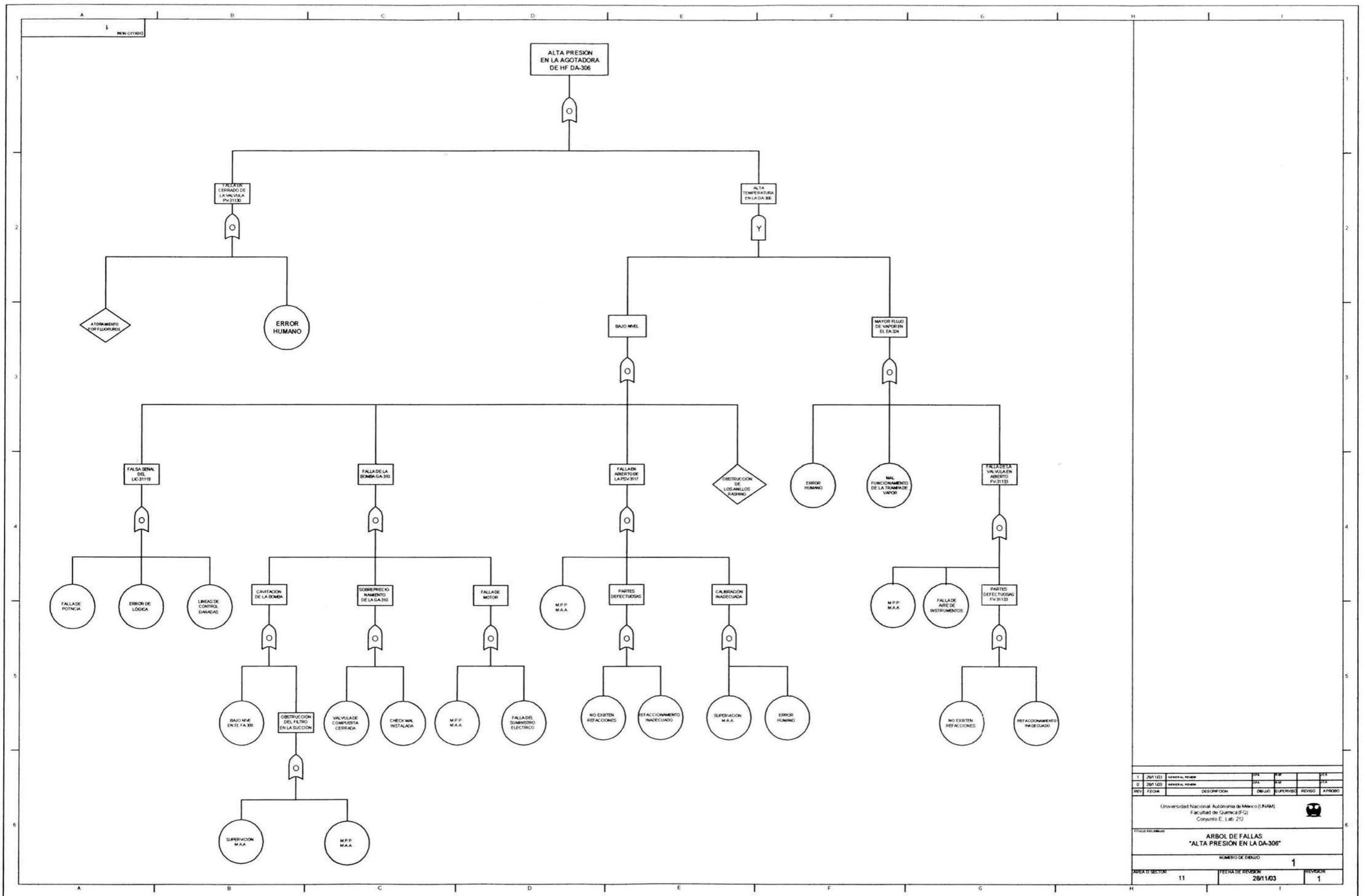
LISTA DE CAMBIOS REV. 8

- SE ELIMINO EL INTERCAMBIADOR EA-300 BY SE ADICIONO UNA VALVULA DE 1" A LA LINEA DE 2" CW-626-TA EN LA ENTRADA A EA-300
- LOS P-3115 AB CAMBIARON DE LUGAR
- SIMPLE CONECCION PARA TOMA DE MUESTRA
- SE ELIMINARON LAS BOMBAS GA-317 AB
- SE ADICIONO UNA LINEA DE ALA TUBERIA DE 2" CA-145-T18
- SE ADICIONO UNA LINEA DE 3" A LA TUBERIA DE 2" CA-145-T18
- PARA VER LOS DIAGRAMAS DE REFERENCIA AL PLANO PAP-33-P1-EF-012 DE LA REV. 7
- SE ADICIONO NOTA 15

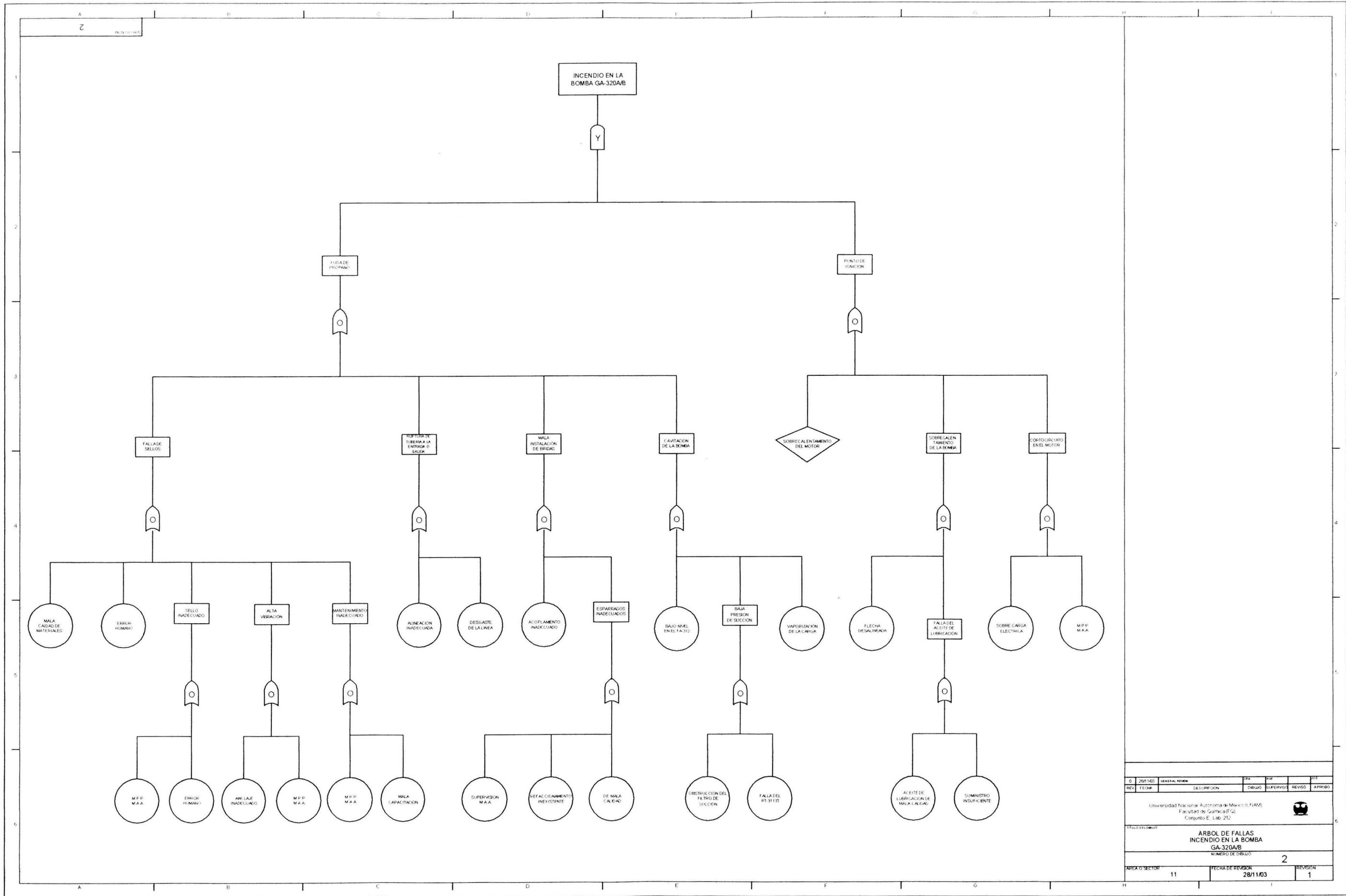


- ① FIRST STAGE OPERATION
- ② SECOND STAGE OPERATION

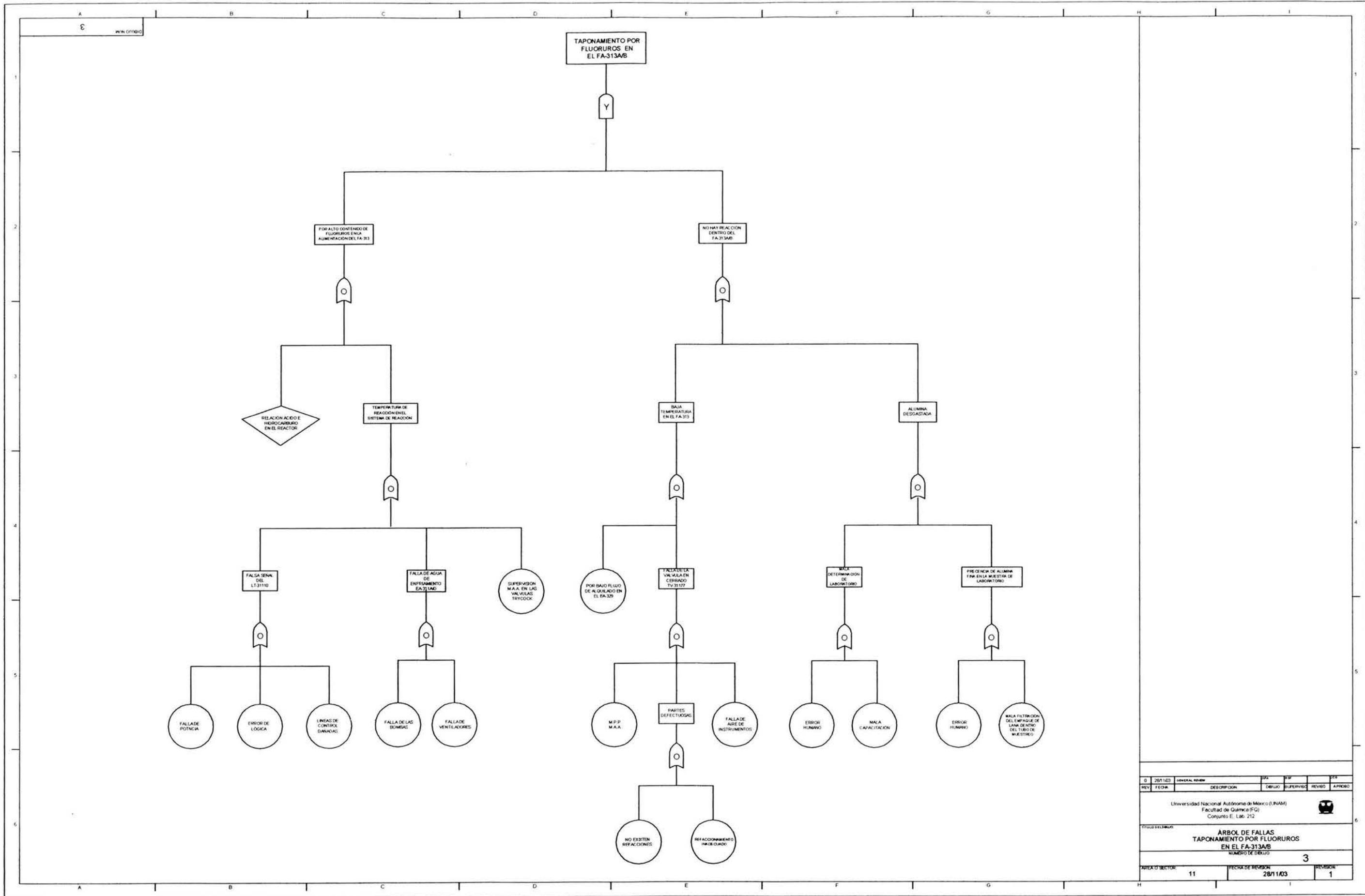
REV	20/2/2002	REVISION GENERAL PARA ANALISIS REGION	DF	DF	DF	DF
REV	11/1/1994		DF	DF	DF	DF
REV	FECH	DESCRIPCION	DEBIDO	SUPERVISOR	REVISO	APROBADO
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E. Lab. 212						
ALKYLATION PLANT PIPING & INSTRUMENTS DIAGRAM PROPANE AND BUTANE TREATING 1/2						
NUMERO DE DISEÑO PAPER SECTION SECTOR 11			FECHA DE REVISION 20-DIC-2002		REVISION 8	



1	28/11/03	GENERAL REVIEW	DA	RF	DF
0	28/11/03	GENERAL REVIEW	DA	RF	DF
REV	FECHA	DESCRIPCION	ORIGEN	SUPERVISOR	REVISOR
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E, Lab. 212					
TITULO DEL DIBUJO ARBOL DE FALLAS "ALTA PRESION EN LA DA-306"					
NUMERO DE DIBUJO 1					
AREA O SECTOR	FECHA DE REVISOR	REVISOR			
11	28/11/03	1			



REV. 0	25/11/03	GENERAL REVIEW	TEC.	REV.	REV.
REV. 1	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	SUPERVISOR	REVISOR
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E. Lab. 212					
TÍTULO DEL DISEÑO ARBOL DE FALLAS INCENDIO EN LA BOMBA GA-320A/B					
NUMERO DE DISEÑO 2					
AREA O SECTOR 11			FECHA DE REVISION 28/11/03		REVISION 1

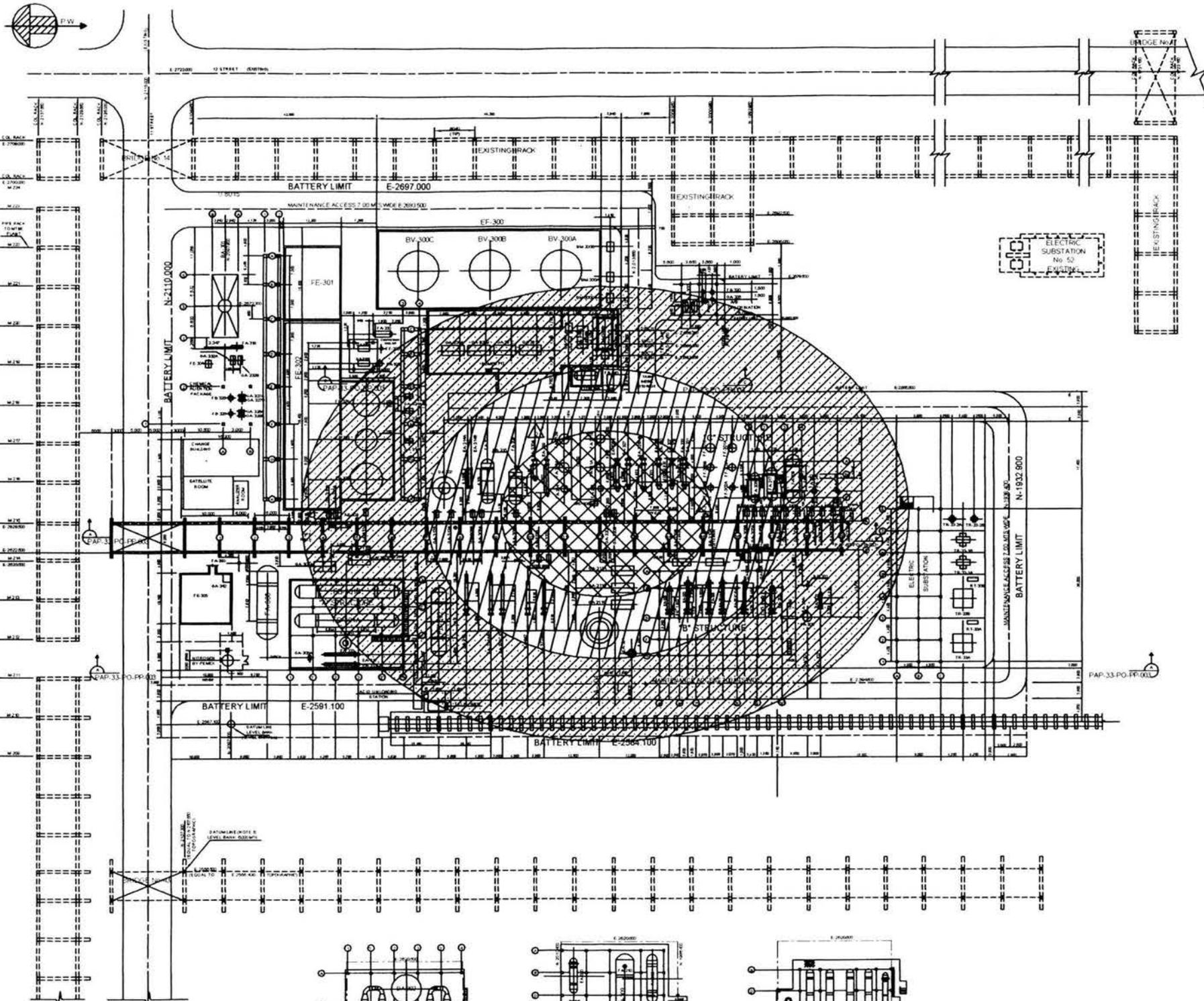


REV	FECH	GENERAL	REVISION	DESCRIPCION	ELABO	SUPERVISOR	REVISO	APROBO
0	28/11/03	GENERAL	REVISION					

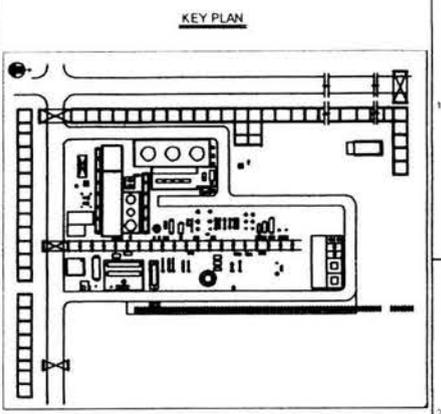
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Química (FQ)
 Conjunto E, Lab. 212

TÍTULO DEL DISEÑO:
ARBOL DE FALLAS
TAPONAMIENTO POR FLUORUROS
EN EL FA-313A/B
NUMERO DE DISEÑO: 3

AREA O SECTOR: 11 **FECHA DE REVISION:** 28/11/03 **REVISION:** 1

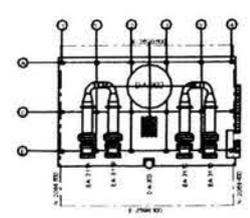


EQUIPMENT INDEX	
EQUIP NO	DESCRIPTION
DA-301	MAIN FRACTIONATOR REBEELS FURNACE
DA-302	COOLING FANS
DA-303	DME STRIPPER
DA-304	ACID REFIN COLUMN
DA-305	MAIN FRACTIONATOR
DA-306	BUTANE RECTIFIER
DA-307	HT STRIPPER
DA-308	ACID RECYCLE NEUTRALIZER (ARN)
DC-301	HYDROGEN REACTOR
EA-301A	HYDROGEN FEED BOTTOMS EXCHANGER
EA-302	HYDROGEN FEED HEATER/COOLER
EA-303	DME STRIPPER FEED HEATER
EA-304	DME STRIPPER RECOOLER
EA-305	DME STRIPPER CONDENSER
EA-306	OLEFIN COOLER
EA-307	MIXED FEED DRIER REGENERATION HEATER
EA-308	MIXED FEED DRIER REGENERATION CONDENSER
EA-309	FRESH FEED DRIER REGENERATION HEATER
EA-310	FRESH FEED DRIER REGENERATION CONDENSER
EA-311A	ACID COOLERS
EA-312	ACID VAPORIZER
EA-313	ISOBUTANE VAPORIZER
EA-314A	ASO CAUSTIC HEATER/COOLER
EA-315	ASO SURGE DRUM HEATER
EA-316	MAIN FRACTIONATOR FEED RECYCLE EXCHANGER
EA-317	MAIN FRACTIONATOR FEED BOTTOMS EXCHANGER
EA-318A	MAIN FRACTIONATOR DME STRIPPER D/H CONDENSER
EA-319	BUTANE RECTIFIER CONDENSER
EA-320	MAIN FRACTIONATOR INTERHEATER
EA-321A	ISOBUTANE RECYCLE STRIPPER
EA-322A	ALKYLATE COOLERS
EA-323	MAIN FRACTIONATOR BOTTOMS PUMP FLUSH COOLER
EA-324	HT STRIPPER REBEELS
EA-325	PROPANE RECYCLE PUMP FLUSH COOLER
EA-326	PROPANE DEHYDRATOR FEED BOTTOMS EXCHANGER
EA-327	PROPANE DEHYDRATOR FEED HEATER
EA-328A	PROPANE CONDENSERS
EA-329	BUTANE DEHYDRATOR FEED HEATER
EA-330A	BUTANE CONDENSERS
EA-331	BUTYLENE DRIER REGENERATION HEATER
EA-332	BUTYLENE DRIER REGENERATION CONDENSER
EA-333	ACID/ALKYLATE VAPORIZER
EA-334	DEMOMERAL FEED WATER COOLER
EA-340	STEAM CONDENSER FOR FLASH TANK
FA-301	DME STRIPPER ACCUMULATOR
FA-302	DME STRIPPER WATERING
FA-303	MIXED FEED DRIER K.O DRUM
FA-304	FRESH FEED DRIER K.O DRUM
FA-305	ASO CAUSTIC WASHER
FA-306	ASO SURGE DRUM
FA-307	MAIN FRACTIONATOR D/H STRIPPER ACCUM
FA-310	VENT GAS ABSORBER
FA-311A	PROPANE DEHYDRATOR
FA-312	PROPANE WASH TREATER
FA-313A	BUTANE DEHYDRATORS
FA-314	BUTANE WASH TREATER
FA-317	BUTYLENE FEED DRIER K.O DRUM
FA-318	STEAM DRUM
FA-319	AIR RECEIVER
FA-320	BREATHING AIR RECEIVER
FA-321	FLASHING TANK
FA-322	FLASHING TANK
FA-300	K.O DRUM
FA-300	FUEL GAS SCRUBBER
FB-301A	ACID STORAGE TANKS
FB-302	ACID WASHING TANK
FB-303	CAUSTIC DILUTION TANK
FB-304	CALCIUM CHLORIDE TANK
FB-305	CORROSION INHIBITOR TANK
FB-306	SULPHURIC ACID STORAGE TANK
FB-307	NAOH STORAGE TANK
FB-308	ORIGIN SEA WASHING TANK
FB-309	SODIUM PHOSPHATE TANK
FB-310	FUEL OIL TANK
FE-301	SPENT CAUSTIC MOUND BASIN
FE-302	CALCIUM FLUORIDE PRECIPITATION BASIN
FE-303	SPENT CAUSTIC NEUTRALIZATION PIT
FE-304	PURGE PIT
FE-305	ACID WATER BASIN
FF-301A	MIXED FEED DRIERS
FF-302A	FRESH FEED CLAND DRIERS
FF-303A	BUTYLENE FEED DRIERS
FF-300	AIR DRIER
GA-301A	DME STRIPPER REFLUX PUMPS
GA-302A	MIXED FEED DRIER REGEN PUMPS
GA-303A	FRESH FEED DRIER REGEN PUMPS
GA-304A	ACID REFIN FEED PUMP
GA-305A	MAIN FRACTIONATOR FEED PUMPS
GA-306A	ASO CAUSTIC CIRCULATION PUMPS
GA-307A	ASO TRANSFER PUMPS
GA-308A	MAIN FRACTIONATOR REFLUX PUMPS
GA-311A	MAIN FRACTIONATOR REBEELS PUMPS
GA-312A	ARN CAUSTIC CIRCULATION PUMPS
GA-313A	DILUTE CAUSTIC PUMP
GA-314	CALCIUM CHLORIDE PUMP
GA-315A	SPENT CAUSTIC NEUTRALIZATION SUMP PUMP
GA-316A	BUTYLENE DRIER REGENERATION PUMPS
GA-320A	PROPANE PRODUCT PUMPS
GA-321A	BUTANE PRODUCT PUMPS
GA-322A	ALKYLATE PRODUCT PUMPS
GA-324A	DISCHARGE CAUSTIC STORAGE TANK PUMPS
GA-327A	HYDRAZINE INJECTION PUMP
GA-328A	SODIUM PHOSPHATE INJECTION PUMP
GA-330A	CONDENSATE PUMPS
GA-331A	COOLING WATER PUMPS
GA-332A	WAB CIRCULATION PUMPS
GA-333A	BOILER FEED CONDENSATE
GA-334A	INVERTER Dosing PUMP
GA-340A	MITIGATION WATER PUMP
GA-341	JOKEY PUMP
GA-342	ACID WATER PUMP
GB-320A	PUMP AND INSTRUMENT AIR COMPRESSOR
ME-301	FEED HYDROGEN MIXER
ME-302	FEED RECYCLE WATER MIXER
ME-303	ASO CAUSTIC MIXER
ME-304	ARN STEAM WATER CAUSTIC MIXER
ME-305	INHIBITOR AGITATOR
ME-306	OIL MIST LUBRICATOR
EE-300	CONDENSATE EXTRACTOR
EE-301	CONDENSATE EXTRACTOR
EF-300	COOLING TOWER
P-301	CHLORINE PACKAGE
S-300	SCALE
T-300	TANKS
RT-334B	GRINDING RESISTANCE (BY REM)
TR-331A	TRANSFORMERS
TR-332A	TRANSFORMERS

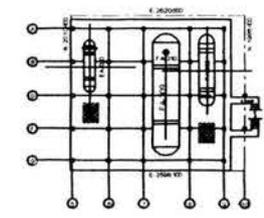


NOTES:
1. DIBUJO ORIGINAL POR CHYODA, EPN

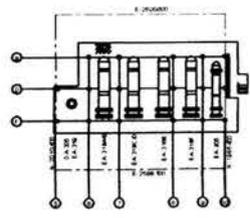
- LISTA DE CAMBIOS Y REV. 2
- 1. SE ELIMINARON LOS FUENTES DE OROS
 - GA-321A
 - GA-330
2. SE AGREGO NOTA 1



1^{ra} FLOOR (EL. 8,000)
"A" STRUCTURE

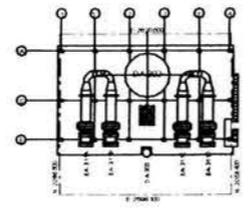
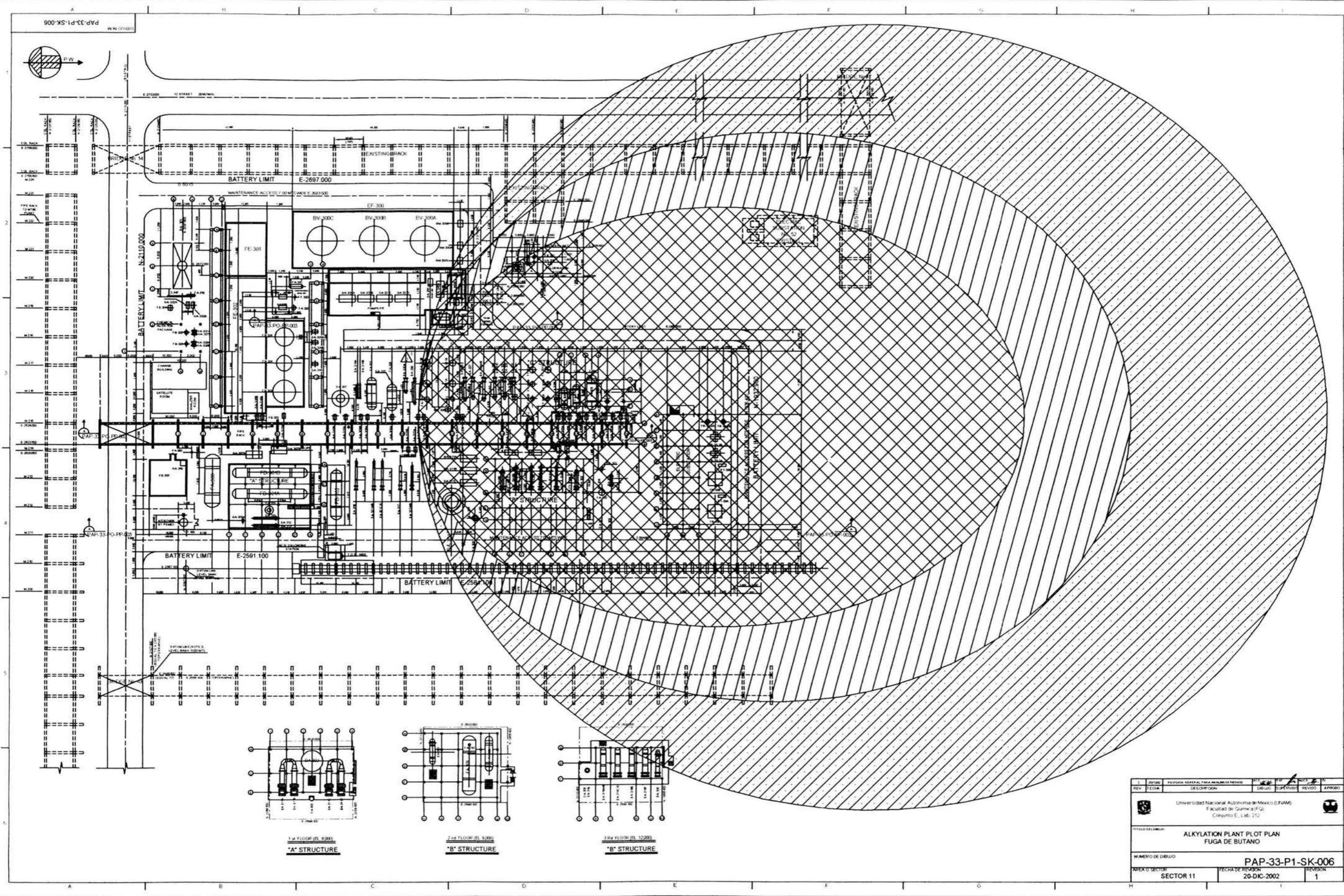
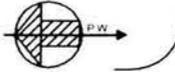


2^{da} FLOOR (EL. 6,000)
"B" STRUCTURE

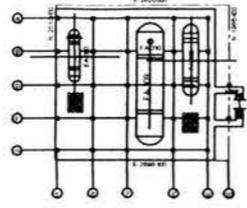


3^{ra} FLOOR (EL. 2,000)
"B" STRUCTURE

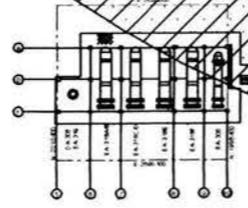
1	2010	REVISOR GENERAL PARA ANALISIS DE RIESGO	CHYODA	CHYODA	CHYODA	CHYODA
REV	FECHA	DESCRIPCION	DIBUJO	ELABORADO	REVISO	APROBADO
<p>Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Compuq. E. Lib. 215</p>						
<p>TITULO DEL DIBUJO: ALKYLATION PLANT PLAN FUGA DE PROPANO</p>						
<p>NUMERO DE DIBUJO: PAP-33-P1-SK-006</p>			<p>REVISOR: 1</p>			
<p>AREA O SECTOR: SECTOR 11</p>		<p>FECHA DE REVISOR: 20-DIC-2002</p>		<p>REVISOR: 1</p>		



1st FLOOR (EL. 6000)
"A" STRUCTURE



2nd FLOOR (EL. 6000)
"B" STRUCTURE



3rd FLOOR (EL. 12000)
"B" STRUCTURE

REV.	FECHA	REVISOR GENERAL	PROYECTANTE	PROYECTANTE	PROYECTANTE	PROYECTANTE
REV.	FECHA	DESCRIPCION	ELABORADO	SUPERVISADO	REVISADO	APROBADO
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Química (FQ) Conjunto E, Lab. 212						
TITULO DEL DISEÑO: ALKYLATION PLANT PLOT PLAN FUGA DE BUTANO						
NUMERO DE DISEÑO: PAP-33-P1-SK-006						
AREA O SECTOR: SECTOR 11		FECHA DE REVISION: 20-DIC-2002		REVISION: 1		



APÉNDICE

B

**PROPIEDADES
QUÍMICAS Y FÍSICAS**



PROPIEDADES

INTRODUCCIÓN

Cualquier sustancia puede ser sólida, ocupar volumen y tener masa, estas propiedades y algunas más, son propiedades comunes a toda clase de materia y, por tanto, no nos permiten distinguir unas de otras. La materia presenta diversas propiedades que la caracterizan, algunas de ellas identifican a toda la materia, por ello se les llama propiedades generales; otras, como las propiedades particulares de la materia sólida, precisan ciertas características de un grupo; y las que determinan las diferencias entre una sustancia y otra se llaman propiedades específicas, por medio de las cuales es posible identificar la clase o clases de materia que forman un determinado objeto. Son propiedades características, por ejemplo, la densidad, o relación entre la masa y el volumen, la temperatura de fusión y la temperatura de ebullición.

La materia puede someterse a dos tipos de procesos o fenómenos, los físicos y los químicos. Cuando ocurre un fenómeno físico las sustancias realizan un proceso o cambio sin perder sus propiedades características, es decir, sin modificar su naturaleza.

Por ejemplo, si disolvemos sal común en agua, tiene lugar un proceso físico, tras el cual la sal y el agua siguen teniendo las mismas propiedades características, esto se comprueba recuperando la sal por calentamiento de la disolución ya que no se altera la naturaleza de las sustancias que se disuelven. También es un proceso físico la fusión del hielo, pues el líquido que se obtiene sigue siendo agua, e incluso el paso de ésta a vapor.



Figura. B.1. Fenómenos físicos.

Por el contrario, si una sustancia se transforma en otra nueva, de distinta naturaleza, se dice que ha tenido lugar un fenómeno químico.

Por ejemplo, el hierro de algunos objetos se combina con el oxígeno, en presencia de la humedad del aire, transformándose en una sustancia diferente, la



herrumbre, que no tiene las propiedades características del metal, es decir no es tan dura, ni tiene su brillo y su color, ni funde a la misma temperatura, etc.

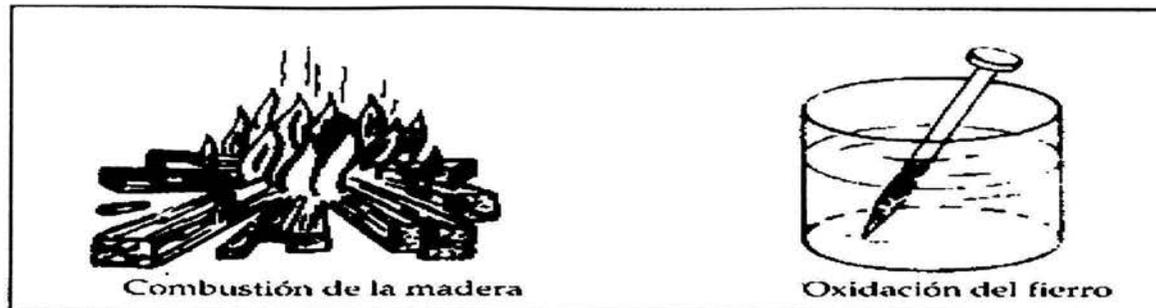


Figura. B.2. Fenómenos químicos.

Es importante conocer las propiedades de la materia porque la identificación de sus características es indispensable para su uso y aprovechamiento.

ÁCIDO FLUORHÍDRICO (Catalizador en el proceso de alquilación)

Inflamable, tóxico, de incoloro a amarillo claro, con un olor penetrante, irritante, punzante y desagradable, que consta de fluoruro de hidrógeno (normalmente del 30-70 % en peso) disuelto en agua.

El ácido fluorhídrico es un ácido inorgánico débil. En la industria puede existir en concentraciones que oscilan entre el 1 y el 100%. Es un líquido fumante y corrosivo a temperaturas frías relativamente, pero su punto de ebullición (aproximadamente 20°C) es a menudo excedido por las temperaturas a las cuales es usado en las refinerías. Se evapora rápidamente a la presión atmosférica y temperaturas arriba de 20°C, formando un evidente vapor blanquecino el cual tiene un característico olor picante e irritante, los vapores son invisibles y forman nieblas con el aire húmedo. Ambos, el líquido y sus vapores son extremadamente peligrosos, cuando se manejan en forma inadecuada.

El ácido es completamente soluble en agua y se mezcla rápidamente generando calor. En contacto con otros metales puede liberar hidrógeno, gas inflamable y potencialmente explosivo. Reacciona (posiblemente de forma violenta) con una amplia variedad de materiales que incluyen trióxido de arsénico, pentóxido de fósforo, ácido bismúctico, ácido nítrico, flúor; sodio, cianuros, sulfuros, anhídrido acético, 2-amino etanol, hidróxido de amonio o de sodio; óxido de calcio, ácido clorosulfónico, etilendiamina, etilenimina, óleum, beta-propiolactona, óxido de propileno, ácido sulfúrico, vinil acetona, álcalis fuertes y otros. El contacto con los sulfuros puede liberar sulfuro de hidrógeno, gas tóxico. El contacto con cianuros puede liberar cianuro de hidrógeno, gas tóxico. Se obtiene destilando una mezcla de fluoruro cálcico en polvo y ácido sulfúrico.



Su disolución acuosa (ácido fluorhídrico), que es la que se usa comercialmente, se obtiene pasando vapores de fluoruro de hidrógeno anhidro por un receptor de plomo que contiene agua destilada. El ácido fluorhídrico es extremadamente corrosivo y debe almacenarse en contenedores de plomo, acero o plástico. Este ácido disuelve el vidrio, lo que lo hace útil para su grabado; Usos Comunes: Abrillantador, agua fuerte y esmerilado; decapado de cobre, latón, y otros aceros; electropulido de metales; limpieza de piezas de fundición; disolvente de minerales; fabricación de productos químicos fluorados y plásticos; detergentes.

El ácido fluorhídrico se usa en el hogar como limpia metales y quitamanchas de óxidos; en los productos domésticos que lo contienen, no sobrepasa el 12%.

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

TABLA. B.1. Propiedades químicas y físicas del HF.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Calor Latente de Vaporización	7460	cal/mol
Densidad del Líquido al 95% y 20°C	1.089	g/cm ³
Densidad del Vapor Comparado con Aire	3.0	kg/m ³
Gravedad especifica (a 0°C)	~1	
Masa Molecular	20.01	
Presión de Vapor (a 20°C)	775	mm Hg
Punto de Congelación/Punto de Fusión a 1atm	De (-71 °C) a (-69 °C) para disoluciones del 70 %; (-37 °C) para disoluciones de 48 %; (-35 °C) para disoluciones del 35.35 %.	°C
Punto de Ebullición (1 atm)	19.5	°C
Punto de fusión	-83.5	°C
Solubilidad en Agua	100	%
Temperatura de Auto-Ignición	No aplicable	°C
Solubilidad en Otros Productos Químicos	Soluble en alcohol	
Temperatura máx. de Flamabilidad con Aire	No aplicable	
Color de la Materia de Envío	Líquido incoloro a amarillo claro; puede humear en el aire si no está demasiado diluido	
Características del Olor	Fuerte; irritante; punzante; penetrante	



RIESGOS GENERALES

Concentración Umbral de Olor: 0.036-132 ppm.

Riesgos: Líquido extremadamente corrosivo y reactivo que puede humear en el aire. El contacto con algunos metales puede liberar hidrógeno gas.

TOXICOLOGÍA

Es un ácido menos fuerte que los demás hidrácidos, pero produce graves quemaduras sobre la piel. Produce intoxicaciones graves, que en ciertos casos pueden ser mortales, por inhalación, ingestión o absorción por la piel. Los síntomas de intoxicación se pueden presentar también después de varias horas, producen graves daños a los ojos, piel y vías respiratorias.

Extremadamente tóxico y corrosivo por todas las vías de exposición posibles. Los humos y vapores del ácido concentrado pueden ser peligrosos a distancias considerables en la dirección del viento. Las disoluciones del 2 % o menores en peso pueden producir quemaduras en los tejidos corporales.

Inhalación: Los vapores del ácido fluorhídrico son extremadamente irritantes para la nariz, garganta y pulmones. Exposiciones excesivas pueden producir inflamación rápida y congestión de los pulmones, graves dificultades respiratorias, fiebre, cianosis y muerte por edema pulmonar. Concentraciones de 50-250 ppm. En el aire se consideran peligrosas para los humanos, incluso en breves exposiciones.

Ingestión: Si es ingerido el ácido fluorhídrico puede causar severas quemaduras en el tracto gastrointestinal. Produce graves quemaduras en la boca, garganta y estómago, náuseas, vómitos, dolor, diarrea, trastornos del riñón, hipocalcemia profunda, colapso circulatorio y muerte.

Contacto con los ojos: Puede producir ceguera u otros defectos permanentes en la visión.

Contacto con la piel: El ácido fluorhídrico o sus humos producen quemaduras y úlceras dolorosas de difícil cicatrización, que implican la muerte localizada de la piel y de los tejidos profundos y una posible descalcificación de los huesos.

De acuerdo con la OSHA el límite de exposición permisible (PEL) es para el ácido fluorhídrico es de 3ppm.



El agua pulverizada o nebulizada, aplicada a los vapores o humos de ácido fluorhídrico, puede absorber vapores, abatir humos y acelerar su dispersión en la atmósfera. La adición de una cantidad de agua relativamente grande al ácido fluorhídrico líquido puede retrasar la liberación de vapores a la atmósfera.

PROPANO (Principal producto del proceso de alquilación con HF)

El propano es un gas inflamable incoloro e inodoro a temperatura ambiente que puede ser tóxico cuando se inhala, ya que desplaza el oxígeno de los pulmones impidiendo la respiración. Es un hidrocarburo lineal saturado más pesado que el aire, de fórmula química C_3H_8 ; se puede licuar a presiones razonables. Por la pérdida de un átomo de hidrógeno puede dar lugar a dos radicales: el n-propil y el isopropil. Está presente en el gas natural, a pesar que industrialmente se obtiene de la fracción de punto más bajo de ebullición en el refino del petróleo.

No reacciona vigorosamente a temperatura ambiente, pero sí reacciona a dicha temperatura al mezclarlo con cloro y exponerlo a la luz. A temperaturas más altas, el propano arde en contacto con el aire, produciendo dióxido de carbono y agua, por lo que sirve como combustible en hogares, comercios e industrias.

El propano comercial esta compuesto principalmente por, propano (87%), etano (1%), isobutano (6%) y butano normal (6%). Para que las fugas del propano comercial sean fácilmente detectables, deben contener una pequeña concentración de compuestos de azufre que le dan olor, los mercaptanos.

Utilizado como combustible industrial y doméstico, el propano se separa de sus compuestos afines: el butano, etano y propeno. El butano, con un punto de ebullición de $-0,5\text{ }^\circ\text{C}$, rebaja la velocidad de evaporación de la mezcla líquida. El propano forma un hidrato sólido a baja temperatura, lo que constituye un inconveniente cuando se produce una obstrucción en las tuberías de gas natural. También se emplea en el llamado gas embotellado, como combustible para motores, como refrigerante, como disolvente a baja temperatura y como fuente de obtención del propeno y etileno; se utiliza además como disolvente y como agente propulsor. En concentraciones elevadas es anestésico pero no tóxico.

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

TABLA. B.2. Propiedades físicas y químicas del propano.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Calor Latente de Vaporización	85	kcal/kg
Densidad del Gas a $21.1\text{ }^\circ\text{C}$ y 1 atm	1.77	Kg/m ³



TABLA. B.2. Propiedades físicas y químicas del propano (continuación).

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Densidad del Líquido	0.512	kg/l
Densidad del Vapor Comparado con Aire	1.87	kg/m ³
Masa Molecular	44.097	
Poder Calorífico	11.900	kcal/kg
Presión de vapor a 15°C	6,5	bar
Presión de vapor a 5°C	4,7	bar
Punto de Congelación/Punto de Fusión a 1atm	-187.69	°C
Punto de Ebullición (1 atm)	-42.04	°C
Punto de Inflamación	-104	°C
Solubilidad en Agua vol/vol a 37.8°C	0.065	
Temperatura de Auto-Ignición	495	°C
Temperatura máx. de Flamabilidad con Aire	1.925	°C
Temperatura máx. de Flamabilidad con Oxígeno	2.850	°C
Aspecto, Olor y Condición	El gas a temperatura y presión normal es incoloro, inodoro y sin sabor. Propano desaromatizado, tiene un ligero olor dulce. Si se le agregan olorizadores, tendrá un olor fuerte y desagradable.	
Límite de Olor	1,800	mg/m ³

RIESGOS EN CASO DE INCENDIO Y EXPLOSIONES POCO COMUNES

El propano se enciende fácilmente, es más denso que el aire, mas sin embargo, puede extenderse a ras del suelo donde puede haber alguna fuente de ignición. La presión en el cilindro puede aumentar debido a calentamiento y puede romperse, si los reguladores de descarga de la presión llegaran a fallar.

TOXICOLOGÍA

El Propano no es tóxico y es un asfixiante simple, mas sin embargo, tiene ligeras propiedades anestésicas. En concentraciones altas, puede causar mareo.

Inhalación: Asfixiante simple. Debe saberse que antes de que ocurra asfixia, el gas propano cuando excede el límite más bajo en el aire causa una atmósfera explosiva y deficiente en Oxígeno. Exposición a concentraciones de menos del 10% pueden causar mareo. Exposición a atmósferas que contienen el 8 - 10% o menos de oxígeno, pueden causar pérdida del conocimiento sin dar aviso y tan rápidamente, que el individuo no tendrá tiempo de protegerse. La falta de suficiente oxígeno puede causar lesiones graves o muerte.



Ingestión: No aplicable ya que a temperatura ambiente el propano es un gas; pero en estado líquido el contacto directo con el propano puede causar quemaduras.

Contacto con los ojos: El contacto con el líquido o vapor frío puede causar quemaduras a la membrana de los ojos.

Contacto con la piel: El contacto con el líquido o vapor frío puede causar quemaduras a los tejidos.

BUTANO (Producto del proceso de alquilación con HF)

Hidrocarburo saturado de fórmula química C_4H_{10} . En el *n*-butano (normal), la cadena es continua y sin ramificaciones, mientras que en el *i*-butano (iso), o metilpropano, uno de los átomos de carbono forma una ramificación lateral. Esta diferencia de estructura es la causa de las distintas propiedades que presentan. Ambos butanos están presentes en el gas natural, en el petróleo y en los gases de las refinerías. Posee una baja reactividad química a temperatura normal, pero arden con facilidad al quemarse en el aire o con oxígeno. Constituye el componente más volátil de la gasolina, y a menudo se le añade propano en la elaboración del gas embotellado. No obstante, la mayoría del *n*-butano se transforma en butadieno, que se utiliza para fabricar caucho sintético y pinturas de látex.

El butano comercial es un gas licuado del petróleo, compuesto principalmente por butano normal (60%), propano (9%), isobutano (30%) y etano (1%).

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

TABLA. B.3. Propiedades físicas y químicas del butano.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Color Latente de Vaporización	86,5	kcal/kg
Densidad del Líquido	0.590	kg/l
Densidad del Vapor Comparado con Aire	2.44	kg/m ³
Masa Molecular	58.12	
Poder Calorífico	11.800	kcal/kg
Presión de Vapor a 15°C	0,8	bar
Presión de Vapor a 5°C	1,7	bar
Punto de Ebullición (1 atm)	-1.0	°C



TABLA. B.3. Propiedades físicas y químicas del butano (continuación).

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Punto de Inflamación	-73	°C
Solubilidad en Agua	insignificante	
Temperatura de Auto-Ignición	480	°C
Temperatura máx. de Flamabilidad con Aire	1.895	°C
Temperatura máx. de Flamabilidad con Oxígeno	2.820	°C
Aspecto, Olor y Condición	Gas incoloro, sin olor a pequeñas concentraciones	

RIESGOS EN CASO DE INCENDIO Y EXPLOSIONES POCO COMUNES

Producto poco famable. Más pesado que el aire. Puede acumularse en espacios confinados, particularmente al nivel del suelo o en sótanos. Puede formar mezclas explosivas con el aire, puede polimerizarse además es normalmente un inhibidor, puede reaccionar violentamente con materias oxidantes.

TOXICOLOGÍA

No es un gas toxico más es un ligeramente potente narcótico; la concentración máxima admisible recomendada para la exposición es de 8 a 5 horas con 800 ppm de volumen en el aire.

Inhalación: Los vapores causan mareo, dolor de cabeza y nauseas. A elevadas concentraciones puede provocar asfixia. Los síntomas pueden conducir a la pérdida de la conciencia o de la movilidad debido a la ausencia de oxígeno. A bajas concentraciones puede tener efectos narcotizantes. Los síntomas pueden incluir vértigos y pérdidas de coordinación.

Ingestión: No aplicable. A temperatura ambiente el n-butano es un gas, pero el contacto directo con el líquido puede causar quemaduras.

Contacto con los ojos: En muy altas concentraciones, el n-butano puede ser ligeramente irritante a los ojos. El contacto directo del líquido puede causar quemaduras por enfriamiento.

Contacto con la piel: Los vapores de n-butano no irritan la piel. El contacto directo con el líquido puede causar quemaduras por enfriamiento en las membranas mucosas y causar una depresión en el sistema nervioso central.



ACEITE SOLUBLE EN ÁCIDO (ASA's) (Producto del proceso de alquilación con HF.)

El aceite soluble en ácido (ASA), es un producto indeseable del proceso de alquilación que para su formación consumen HF, es difícil prescindir de él, y reducen el rendimiento potencial de alquilado. La formación de ASA provoca un decremento en la acidez del HF (que se considera como la aparente o acidez titulable del ácido en el reactor).

Los factores principales que propician la formación de ASA podrían considerarse los siguientes:

- El butadieno contenido en la carga de la sección Hydrisom® contribuye a la formación de este subproducto.
- Los compuestos oxigenados.
- La temperatura en el enfriador de ácido, ya que si la temperatura aumenta por arriba de los 36°C, la calidad y la cantidad de alquilado disminuye por lo que la reacción que se favorece es la producción de (ASA).
- La reducción de la acidez favorece la formación de ASA. La fuerza ácida es la acidez aparente de ácido fluorhídrico medida en el reactor.

Una manera de prevenir la formación de aceite soluble en ácido (ASA), es por medio de los secadores de carga olefínica, que tienen como objetivo remover la humedad contenida en las corrientes de butilenos de FCC y de isobutano de reposición, minimizando la formación de ASA y el consumo de HF en la etapa de reacción.

También la relación volumétrica de isobutano/butilenos* permite la reducción de ASA, ya que al disminuir la carga de olefina, incrementa la relación, favoreciendo la formación de isooctanos y mejorando la calidad del alquilado.

Phillips propone dos métodos de disposición de los ASA: a) la incineración directa de los ASA en el rehervidor de la columna desisobutanizadora y, b) el mezclado de los ASA en el combustóleo para su posterior incineración en el rehervidor**.

* La relación volumétrica es, la relación en volumen de isobutano con respecto al volumen de butilenos, en la alimentación al reactor.

** Este método es el empleado en la Planta de Alquilación de la Refinería de Salina Cruz, Oaxaca.



PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

TABLA. Propiedades físicas y químicas del aceite soluble en ácido (ASA's).

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Densidad del vapor (aire=1)	>1	
Gravedad específica (H ₂ O=1)	0.96 +/- 0.05	
Limites de Flamabilidad (% volumen en aire)	Máx. y Mín. no establecidos	°C
Porcentaje de volatilidad por volumen	100	%
Presión de vapor	No establecida	
Punto de ebullición	104 +/- 12	°C
Radio de Evaporación (Etil Eter=1)	>1	
Solubilidad en agua	No establecida	
Temperatura de flamabilidad	93	°C
Viscosidad	No establecida	
Apariencia y Olor	Líquido oscuro, olor repulsivo	
Presión de vapor	No establecida	
Punto de ebullición	104 +/- 12	°C
Radio de Evaporación (Etil Eter=1)	>1	
Solubilidad en agua	No establecida	
Temperatura de flamabilidad	93	°C
Viscosidad	No establecida	
Apariencia y Olor	Líquido oscuro, olor repulsivo	

RIESGOS EN CASO DE INCENDIO Y EXPLOSIONES POCO COMUNES

Se quema cuando forma óxidos de carbono. Es muy inflamable, sus vapores son más pesados que el aire y pueden acumularse en áreas bajas y/o extenderse a lo largo del suelo.

TOXICOLOGÍA

Inhalación: La inhalación de vapor en concentraciones de 3ppm de aceite soluble en ácido o mayores puede causar severa irritación de nariz, garganta y pulmones.

Ingestión: Puede causar quemaduras químicas en el tracto gastrointestinal.

Contacto con los ojos: El contacto directo con estos puede causar quemaduras químicas en ellos, ya que es muy corrosivo.

Contacto con la piel: El contacto directo con el aceite puede causar quemaduras químicas en la piel, el aceite soluble en ácido es muy corrosivo a esta.



ISOBUTANO (Es usado como una de las principales alimentaciones en el proceso de alquilación con HF)

También denominado 2-metilpropano, es un gas inflamable, incoloro, isómero del n-butano. Es insoluble en agua, pero soluble en alcohol y éter. Su fórmula molecular es $(CH_3)_2CHCH_3$. Se obtiene a partir del crudo de petróleo, del gas natural y de los productos de "cracking" de las refinerías. La separación de los dos butanos, cuando es necesaria, se hace por destilación, y necesita un gran reflujo. Se utiliza como combustible, con otros hidrocarburos ligeros (gases licuados del petróleo, LPG), para usos domésticos, industriales, en motores de explosión, y como materia prima en la producción de caucho sintético. La reacción industrial más importante, del isobutano es la condensación con alquenos, llamada alquilación, la cual produce compuestos con un elevado índice de octano (octanaje).

PROPIEDADES QUÍMICAS Y FÍSICAS

TABLA. Propiedades físicas y químicas del isobutano.

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES
Calor Latente de Vaporización		kcal/kg
Densidad Relativa del Gas (aire=1)	2	Kg/m ³
Densidad Relativa del Líquido (agua=1)	0.59	kg/l
Masa Molecular	58	
Presión de Vapor a 20°C	3	bar
Punto de Ebullición	-12	°C
Rango de Inflamabilidad (% de volumen en aire)	1.8-8.5	°C
Solubilidad en Agua	54	mg/l
Temperatura de Auto-Ignición	460	°C
Rango de Inflamabilidad (% de volumen en aire)	1.8-8.5	°C
Aspecto, Olor y Condición	Gas incoloro, algo dulce, sin olor a pequeñas concentraciones	

RIESGOS EN CASO DE INCENDIO Y EXPLOSIONES POCO COMUNES

El isobutano, como el butano, es más denso que el aire y por consiguiente se desplaza a ras de tierra. Por este motivo hay posibilidad de ignición en un lugar distante de la zona de procedencia del gas. Forma mezclas explosivas con el aire.

TOXICOLOGÍA

Inhalación: La inhalación de 500 ppm no ejerce evidentes efectos psicológicos. En altas concentraciones, el isobutano puede causar mareo, dolor de



cabeza y rápida respiración. En extremas concentraciones, puede causar anestesia, inconciencia, paro de la respiración y asfixia.

Ingestión: No aplicable. A temperatura ambiente el isobutano es un gas, pero el contacto directo con el líquido puede causar quemaduras.

Contacto con los ojos: En muy altas concentraciones, el isobutano puede causar ligera irritación de las membranas mucosas. El contacto directo con el isobutano líquido puede causar quemaduras por enfriamiento.

Contacto con la piel En muy altas concentraciones, el isobutano puede causar leve irritación de las membranas mucosas. El contacto directo con el isobutano líquido puede causar quemaduras por enfriamiento.



APÉNDICE

C

EL HF COMO CATALIZADOR



EL ÁCIDO FLUORHÍDRICO COMO CATALIZADOR

Cada cambio químico sucede a una velocidad característica, en función de una variedad de condiciones. Mientras que existen fenómenos químicos extraordinariamente rápidos, también los hay desesperantemente lentos. Una explosión es un ejemplo de un fenómeno químico veloz. Por contraste, los diamantes se convierten lentamente en grafito, en un proceso que dura millones de años.

Cuando se trata de un proceso químico para producir un bien determinado, el factor económico entra en juego y el químico debe idear formas de acelerar su ocurrencia. Para ello hace participar alguno de los siguientes parámetros:

- La concentración de los compuestos que reaccionan. Si ésta aumenta, existe mayor probabilidad de que sus moléculas se encuentren y reaccionen.
- La temperatura. Por lo general, el calentamiento aumenta la velocidad de reacción. Los refrigeradores utilizan este principio, ya que al mantener fría la comida se reduce su velocidad de descomposición.
- El tamaño de las partículas. Si algún reactivo es un sólido, conviene molerlo finamente.
- Catalizadores. Son sustancias que aceleran la reacción, pero que quedan intactas al final de la misma. Por otra parte, se llama *inhibidores* a las sustancias que retardan la velocidad de las reacciones químicas. En la industria alimentaria, los conservadores, sustancias preservativas y antioxidantes son inhibidores que retardan la descomposición de la comida.

El ácido fluorhídrico (HF) actúa como catalizador para la reacción de unión de olefinas con isobutano. El ácido forma parte en la reacción, pero, al completarse esta, se libera y puede ser utilizado nuevamente. La presencia de un exceso de ácido es necesaria antes de que la olefina y el isobutano se combinen para formar el alquilado.

El ácido fluorhídrico se diluye con el agua y el aceite soluble en ácido (ASA). Estos contaminantes deben ser removidos por fraccionamiento para mantener la pureza del ácido. Una parte del ácido se pierde en la rectificación o en el fraccionamiento. El ácido fluorhídrico también se pierde en el sistema, en forma de fluoruros orgánicos los cuales se generan como componentes estables con el propano, butano y alquilado.

CATALIZADORES SÓLIDOS ÁCIDOS

La alquilación de isobutano con olefinas C_4 nos provee de Trimetilpentanos (TMPs) esenciales para las gasolinas, mismos que contienen un alto número de octanaje, una baja presión de vapor y una alta proporción H/C. Industrialmente la



obtención de TMPs es llevada a cabo utilizando catalizadores ácidos líquidos como H_2SO_4 y HF. La utilización de estos ácidos presenta problemas de corrosión y principalmente de contaminación ambiental, por este motivo se han hecho esfuerzos en la búsqueda de catalizadores sólidos ácidos capaces de suplantar a los arriba mencionados.

Sin duda, la catálisis es clave en la industria del petróleo. Es más, cerca de 90% de todos los procesos químicos industriales incluyen la presencia de un catalizador.

Entre ellos, tal vez los más importantes sean, por su volumen:

- La producción de amoníaco, NH_3 , base de los fertilizantes nitrogenados;
- La síntesis de ácido sulfúrico, el producto químico más extendido (se producen anualmente unos 150 millones de toneladas en el mundo);
- La hidrogenación de aceites comestibles;
- La desintegración catalítica, y
- La reformación del petróleo.

La mayoría de los procesos en catálisis utilizan catalizadores sólidos. Estos sólidos, de composición altamente compleja (en ocasiones llegan a tener 10 o más elementos en su fórmula), pueden ser sin embargo descritos en forma de tres componentes elementales: la fase activa, el soporte y el promotor.

La fase activa, como su nombre lo indica, es la directamente responsable de la actividad catalítica. Esta fase activa puede ser una sola fase química o un conjunto de ellas, sin embargo, se caracteriza porque ella sola puede llevar a cabo la reacción en las condiciones establecidas, pero requiere de un soporte para dispersarla, estabilizarla y proporcionarle buenas propiedades mecánicas.

El soporte es la matriz sobre la cual se deposita la fase activa y el que permite optimizar sus propiedades catalíticas. Este soporte puede ser poroso y por lo tanto presentar un área superficial por gramo elevada. Esto es importante si la reacción química es suficientemente lenta; el soporte también debe tener resistencia mecánica elevada si se usan flujos muy rápidos, o tener resistencia térmica si la reacción es llevada a cabo en altas temperaturas.

La forma física de este soporte también está definida por las condiciones de reacción (diseño del reactor) y puede ser en forma de esferas, palitos, anillos, mallas, hojuelas e inclusive monolitos en forma de panal. Los soportes pueden ser amorfos (SiO_2 , carbón), o cristalinos, como las zeolitas o la alúmina. Algunos de los soportes más utilizados son: alúminas, zeolitas, sílicas, carbón, sílice-alúminas.



El promotor es aquella substancia que incorporada a la fase activa o al soporte en pequeñas proporciones, permite mejorar las características de un catalizador en cualquiera de sus funciones de actividad, selectividad o estabilidad. Se conocen dos tipos de promotores: texturales los que contribuyen a dar mayor estabilidad a la fase activa, y electrónicos, los que aumentan la actividad. Los casos más conocidos como promotores son el potasio (electrónico) y la alúmina (textural) en el catalizador de hierro para la síntesis del amoníaco.

Además la aplicación industrial de un catalizador heterogéneo requiere de la optimización de las tres principales características de un catalizador: actividad, selectividad y estabilidad.

La *actividad* es la consecuencia directa del efecto acelerador, y se define como una velocidad de reacción en moles transformados por segundo y por gramo de catalizador. En el caso de algunos catalizadores se prefiere dar esta velocidad corregida por el área del catalizador o mejor aún normalizada por el número de átomos de catalizador que están en contacto con la reacción (*turnover number*).

La *selectividad* de un catalizador está relacionada con el efecto orientador de la reacción en una dirección preferente. Esta cualidad es debida a que el catalizador abre nuevos caminos de reacción con menor energía de activación, los cuales desembocan en una mayor cantidad del producto o en nuevos productos. Un catalizador es más selectivo mientras da mayor cantidad del producto deseado. La selectividad se puede definir como la cantidad de producto constituido en función de la velocidad total de formación de productos.

En la reacción: $A \longrightarrow B + C$ la selectividad hacia B será:

$$S_B = \frac{\text{velocidad B}}{\text{velocidad B} + \text{velocidad C}}$$

La *estabilidad* de un catalizador es la variable final a optimizar en su aplicación industrial y la que se relaciona directamente con la vida útil del catalizador. La vida de operación de un catalizador debe ser evaluada en función de la cantidad de productos formados, de manera que en el mínimo de tiempo debe permitir amortizar el costo del catalizador y la operación del proceso. Si bien en las condiciones de uso de los catalizadores en la actualidad casi todos éstos sobrepasan largamente este mínimo de vida útil, se requiere de una serie de prevenciones para evitar que el catalizador se desactive prematuramente.



El fenómeno de la *desactivación* está íntimamente ligada a la estabilidad del catalizador. Las principales causas de desactivación son:

- Envenenamiento de la superficie catalítica por una molécula que se adsorbe fuertemente.
- Coquificación (formación de carbón) de la superficie por deshidrogenación de algunos hidrocarburos cíclicos.
- Reconstrucción térmica de la superficie con disminución del área activa (sinterización).
- Pérdida de la fase activa por desgaste del catalizador. Cuando algunos catalizadores se desactivan pueden ser *regenerados* para recuperar sus propiedades (totalmente o en parte). El proceso de regeneración está ligado al proceso de desactivación. Algunos catalizadores de procesos como el de desintegración catalítica se desactivan muy rápido por la formación de carbón en su superficie y deben ser continuamente regenerados. El proceso de fluidización de la desintegración catalítica obedece a la necesidad de trasladar continuamente el catalizador del reactor al regenerador y viceversa.

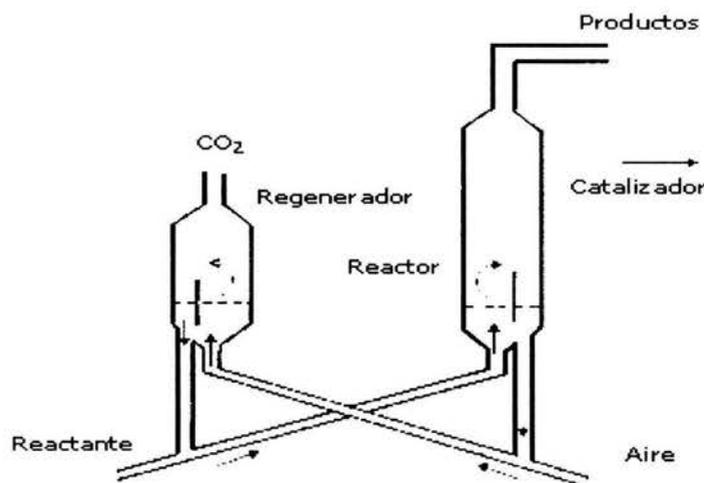


Figura. C.1. Esquema de un reactor de lecho fluidizado.

El uso de catalizadores sólidos en reacciones de síntesis orgánica, presenta ventajas claras por cuanto permite una fácil separación y reutilización de los catalizadores. Estas ventajas no sólo son importantes desde el punto de vista del diseño y de la economía del proceso sino que además resultan también interesantes desde el punto de vista medioambiental. Así pues, es de interés sustituir:

- Catalizadores ácidos líquidos tales como: HF , SO_4H_2 , AlCl_3 , BF_3 , etc., por catalizadores ácidos sólidos, estables y de fácil manejo.



- Catalizadores básicos tales como NaOH, etóxido sódico y sodio metal por óxidos alcalinos soportados, óxidos alcalinotérreos de alta superficie y óxidos mixtos.
- Catalizadores de oxidación en fase homogénea tales como Mn^{6+} , Cr^{3+} , Cu^{2+} , Co^{2+} , etc., por compuestos metálicos soportados.
- Catalizadores de hidrogenación, en los que la tendencia es a conseguir catalizadores.

Como características estructurales modificables, podemos destacar las siguientes:

- Tamaño del poro. La modificación del tamaño de poro puede conducir a efectos de selectividad de forma o tamaño ("shape selectivity").
- Propiedades ácido-base. Se puede conseguir en amplio rango de propiedades ácida-básicas en la superficie del catalizador con los consiguientes efectos catalíticos. Es posible obtener tanto acidez Brønsted como Lewis.
- Hidrofobicidad. Aumentando la relación silicio-aluminio es posible incrementar la hidrofobicidad, que puede tener una clara influencia en reacciones donde están involucradas moléculas de distinta polaridad.
- Elementos en la red. La capacidad de introducir en la red muy diversos elementos permite, todavía más, ampliar el rango de propiedades catalíticas y obtener catalizadores bi o polifuncionales.

El coque formado durante la alquilación de isobutano con C_4 olefinas es altamente hidrogenado. Debido al calentamiento a bajas temperaturas este coque es desorbido como hidrocarburos y simultáneamente cambia de estructuras alifáticas a aromáticas. Esta modificación es la razón de la dificultad de encontrar una forma para remover completamente el coque de este tipo de catalizadores. Para quemar todo el coque depositado, con una corriente de aire, es necesario incrementar la temperatura a $600^{\circ}C$. Si es agregado platino (Pt) al catalizador, una muy leve modificación se encuentra en los perfiles de medición de coque, pero de todas formas el efecto no es suficiente en el orden de disminuir la máxima temperatura necesaria para remover todo el coque depositado. La mayoría del coque depositado puede ser eliminado del catalizador con H_2O_2 si el tiempo de tratamiento es suficiente. El inconveniente es que el coque que permanece aún necesita altas temperaturas para ser removido. La regeneración en O_3 no solo posibilita la reducción de la cantidad de coque depositado, sino que también, permite a temperaturas del orden de los $350^{\circ}C$, la eliminación de la baja proporción de coque que quedó después del tratamiento.

Pero un problema asociado a estos catalizadores, es la rápida desactivación producida por la deposición de coque en la estructura del catalizador. Se ha encontrado que las zeolitas Y intercambiadas con La^+ y con H^+ , son activas y selectivas



para la producción de TMPs. El coque depositado en estos catalizadores requiere altas temperaturas para su eliminación, lo que complica severamente el diseño de un proceso basado en estos materiales.

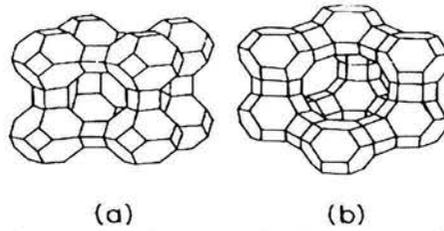


Figura C.2. Estructura de una zeolita (a) tipo A y (b) tipo X o Y



APÉNDICE

D

NORMAS



NORMAS

NORMAS OFICIALES MEXICANAS VIGENTES CLASIFICADAS POR MATERIA

QUE CONTEMPLAN LA REFORMA A LA NOMENCLATURA (ACUERDO PUBLICADO EN EL D.O.F. EL 23 DE ABRIL DE 2003).

ACTUALIZADO AL 15 DE AGOSTO DE 2003

EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS		
NORMA (NOMENCLATURA ACTUAL)	REGULACIÓN	NOMENCLATURA ANTERIOR Y AÑO DE PUBLICACIÓN EN DOF
<u>NOM-052-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	NOM-052-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.
<u>NOM-053-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente.	NOM-053-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.
<u>NOM-054-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la Norma Oficial Mexicana NOM-052-ECOL-1993.	NOM-054-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.
<u>NOM-055-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece los requisitos que deben reunir los sitios destinados al confinamiento controlado de residuos peligrosos, excepto de los radiactivos.	NOM-055-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.
<u>NOM-056-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece los requisitos para el diseño y construcción de las obras complementarias de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.	NOM-056-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.
<u>NOM-057-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece los requisitos que deben observarse en el diseño, construcción y operación de celdas de un confinamiento controlado para residuos peligrosos.	NOM-057-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.
<u>NOM-058-SEMARNAT-1993.</u>	Que establece los requisitos para la operación de un confinamiento controlado de residuos peligrosos.	NOM-058-ECOL-1993 22-OCTUBRE-1993.



EN MATERIA DE RESIDUOS PELIGROSOS		
NORMA (NOMENCLATURA ACTUAL)	REGULACIÓN	NOMENCLATURA ANTERIOR Y AÑO DE PUBLICACIÓN EN DOF
<u>NOM-087- SEMARNAT-SSA1-- 2002</u>	Que establece los requisitos para la separación, envasado, almacenamiento, recolección, transporte, tratamiento y disposición final de los residuos peligrosos biológico-infecciosos que se generan en establecimientos que presten atención médica.	NOM-087-ECOL-1995 17-FEBRERO-2003
<u>NOM-133- SEMARNAT-2000.</u>	Protección ambiental - Bifenilos policlorados (BPCs) - Especificaciones de manejo.	NOM-133-ECOL-2000 10-DICIEMBRE-2001.
<u>Modificación de la NOM-133-ECOL-2000.</u>	Protección ambiental - Bifenilos policlorados (BPCs) - Especificaciones de manejo.	NOM-133-ECOL-2000 5-MARZO-2003.

EN MATERIA DE RESIDUOS MUNICIPALES		
<u>NOM 083-SEMARNAT- 1996</u>	Que establece las condiciones que deben reunir los sitios destinados a las disposición final de los residuos sólidos municipales.	NOM-083-ECOL- 1996 25-NOVIEMBRE- 1996.

EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL		
NORMA (NOMENCLATURA ACTUAL)	REGULACIÓN	NOMENCLATURA ANTERIOR Y AÑO DE PUBLICACIÓN EN DOF
<u>NOM-113-SEMARNAT- 1998</u>	Que establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de subestaciones eléctricas de potencia o de distribución que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas.	NOM-113-ECOL-1998 26-OCTUBRE-1998.



EN MATERIA DE IMPACTO AMBIENTAL		
NORMA (NOMENCLATURA ACTUAL)	REGULACIÓN	NOMENCLATURA ANTERIOR Y AÑO DE PUBLICACIÓN EN DOF
<u>NOM-114- SEMARNAT-1998</u>	Que establece las especificaciones de protección ambiental para la planeación, diseño, construcción, operación y mantenimiento de líneas de transmisión y de subtransmisión eléctrica que se pretendan ubicar en áreas urbanas, suburbanas, rurales, agropecuarias, industriales, de equipamiento urbano o de servicios y turísticas.	NOM-114-ECOL- 1998 23-NOVIEMBRE- 19980
<u>NOM 115- SEMARNAT-1998.</u>	Que establece las especificaciones de protección ambiental que deben observarse en las actividades de perforación de pozos petroleros terrestres para exploración y producción en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.	NOM-115-ECOL- 1998 25-NOVIEMBRE- 1998
<u>NOM 116- SEMARNAT-1998.</u>	Que establece las especificaciones de protección ambiental para prospecciones sismológicas terrestres que realicen en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.	NOM-116-ECOL- 1998 24-NOVIEMBRE- 1998.
<u>NOM 117- SEMARNAT-1998.</u>	Que establece las especificaciones de protección ambiental para la instalación y mantenimiento mayor de los sistemas para el transporte y distribución de hidrocarburos y petroquímicos en estado líquido y gaseoso, que realicen en derechos de vía terrestres existentes, ubicados en zonas agrícolas, ganaderas y eriales.	NOM-117-ECOL- 1998 24-NOVIEMBRE- 1998.
<u>NOM 120- SEMARNAT-1997.</u>	Que establece las especificaciones de protección ambiental para las actividades de exploración minera directa, en zonas con climas secos y templados en donde se desarrolle vegetación de matorral xerófilo, bosque tropical caducifolio, bosques de coníferas o encinos.	NOM-120-ECOL- 1997 19-NOVIEMBRE- 1998
<u>NOM-130- SEMARNAT-2000</u>	Protección ambiental-sistemas de telecomunicaciones por red de fibra óptica-especificaciones para la planeación, diseño, preparación del sitio, construcción y mantenimiento.	NOM-130-ECOL- 2000 23-MARZO-2001.



ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

<u>NOM-017-STPS-1993</u>	F.P. 24/05/94 relativa al equipo de protección personal para los trabajadores en los centros de trabajo	<u>NOM-018-STPS-2000</u>	F.P. 27/10/00 sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo.
<u>NOM-019-STPS-1993</u>	F.P. 22/10/97 relativa a la constitución y funcionamiento de las comisiones de seguridad e higiene en los centros de trabajo.	<u>NOM-021-STPS-1993</u>	F.P. 24/05/94 Relativa a los requerimientos y características de los informes de los riesgos de trabajo que ocurran, para integrar las estadísticas.
<u>NOM-026-STPS-1998</u>	F.P. 13/10/98 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.	<u>NOM-029-STPS-1993</u>	F.P. 14/04/94 Seguridad equipo de protección respiratoria-código de seguridad para la identificación de botes y cartuchos purificadores de aire.
<u>NOM-030-STPS-1993</u>	F.P. 15/03/94 Seguridad-equipo de protección respiratoria-definiciones y clasificación.		

HIGIENE

<u>NOM-010-STPS-1999</u>	F.P. 13/03/00 Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se manejen, transporten, procesen o almacenen sustancias químicas capaces de generar contaminación en el medio ambiente laboral.	<u>NOM-011-STPS-1993</u>	F.P. 06/07/94 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido.
---------------------------------	---	---------------------------------	--



<u>NOM-012-STPS-1999</u>	F.P. 20/12/99 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejen, almacenen o transporten fuentes generadoras o emisoras de radiaciones ionizantes.	<u>NOM-013-STPS-1993</u>	F.P. 06/12/93 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen radiaciones electromagnéticas no ionizantes.
<u>NOM-014-STPS-2000</u>	F.P. 10/04/00 Relativa a exposición laboral a presiones ambientales anormales - condiciones de seguridad e higiene.	<u>NOM-015-STPS-1993</u>	F.P. 30/05/94 Relativa a la exposición laboral de las condiciones térmicas elevadas o abatidas en los centros de trabajo.
<u>NOM-024-STPS-1993</u>	F.P. 15/03/94 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se generen vibraciones.	<u>NOM-025-STPS-1999</u>	F.P. 23/12/99 Condiciones de iluminación que deben tener los centros de trabajo.
<u>NOM-080-STPS-1993</u>	F.P. 14/01/94 Higiene industrial-medio ambiente laboral-determinación del nivel sonoro continuo equivalente, al que se exponen los trabajadores en los centros de trabajo.		

SEGURIDAD

<u>NOM-001-STPS-1999</u>	F.P. 13/12/99 Relativa a las condiciones de edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo - condiciones de seguridad e higiene.	<u>NOM-002-STPS-2000</u>	F.P. 08/09/00 Relativa a las condiciones de seguridad para la prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.
<u>NOM-004-STPS-1999</u>	F.P. 31/05/99 Relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria, y equipo que se utilice en los centros de trabajo.	<u>NOM-005-STPS-1998</u>	F.P. 02/02/99 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de sustancias químicas y peligrosas.



<u>NOM-006-STPS-2000</u>	F.P. 09/03/01 Manejo y almacenamiento de materiales - condiciones y procedimientos de seguridad.	<u>NOM-009-STPS-1999</u>	F.P. 31/05/00 Equipo suspendido de acceso - instalación, operación y mantenimiento - condiciones de seguridad
<u>NOM-022-STPS-1993</u>	F.P.28/05/99 Relativa a las condiciones de seguridad en los centros de trabajo en donde la electricidad estática representa un riesgo.	<u>NOM-023-STPS-1993</u>	F.P.25/03/94 Relativa a los elementos y dispositivos de seguridad de los equipos para izar en los centros de trabajo.
<u>NOM-027-STPS-2000</u>	F.P.08/03/01 Soldadura y corte - condiciones de seguridad e higiene.	<u>NOM-105-STPS-1994</u>	F.P.05/01/96 Norma oficial mexicana: seguridad-tecnología del fuego-terminología.
<u>NOM-122-STPS-1996</u>	F.P.22/10/97 Relativa a las condiciones de seguridad e higiene para el funcionamiento de los recipientes sujetos a presión y generadores de vapor o calderas que operen en los centros de trabajo.		

Crterios por el INE para análisis de riesgos.

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

Fuente: Chemical Process Safety:Fundamentyls with Applications;Crowl/Louvar; Prentice Hall, 1990

Abreviaturas :

IDLH : Inmediately Dangerous to Life and Health

(Concentración Inmediatamente Peligrosa para la Vida y la Salud)

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

Niveles de radiación

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



Fuente: Chemical Process Safety:Fundamentyls with Applications;Crowl/Louvar; Prentice Hall, 1990

Niveles de sobrepresión

PRESIÓN	DESCRIPCIÓN
0.5 psi (0.035 bar)	La sobrepresión a la que se presenta rupturas del 10% de ventanas de vidrio y algunos daños a techos; este nivel tiene la probabilidad del 95% de que no ocurran daños serios. Esta área se considerará como límite de la zona de Amortiguamiento.
1 psi (0.07 bar)	Es la presión en la que se presenta destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios; provoca el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles. De 0,5 a 1 lb/pulg ² se considerará como la zona de Alto Riesgo.

Fuente: Chemical Process Safety:Fundamentyls with Applications;Crowl/Louvar; Prentice Hall, 1990

Daños en plantas y refinerías

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

**Daños en Plantas y Refinerías (continuación).**

PRESION (PSIG)	EVALUACION DE DAÑOS POR EXPLOSIONES	
	REFINERIAS	PLANTAS
7.0	<ul style="list-style-type: none">- Torre rectangular (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre.- Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura.- Torre fraccionadora: (montada sobre pedestal de concreto 9 caída de la torre.- Torre de regeneración derrumbe de la estructura y la torre.- Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura, (estructura de acero) caía de la torre.- Tanques de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques llenos.	<ul style="list-style-type: none">- Reactor catalítico: partes internas dañadas.- Columna fraccionadora: unidad destruida.
10.0	<ul style="list-style-type: none">- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): derrumbe de estructura de fierro.	<ul style="list-style-type: none">- Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida.- Transformados eléctrico: unidad destruida.- Ventilador: unidad destruida.- Regulador de gas: controles dañados, carcaza y caja dañadas.- Columna de extracción: la unidad se mueve de sus cimientos.
20.0		<ul style="list-style-type: none">- Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.
30.0		<ul style="list-style-type: none">- Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos.- Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.



GLOSARIO DE TERMINOS



GLOSARIO DE TERMINOS

AICHE, Instituto Norteamericano de Ingenieros Químicos

Análisis ¿qué pasaría sí? (What if?), Esta técnica tiene como objetivo el identificar y analizar cualitativamente las desviaciones respecto a comportamiento normal del proceso, que pudiesen dar lugar a eventos indeseables.

Análisis cuantitativo de riesgos (ACR), El Análisis Cuantitativo de Riesgos (ACR) consiste en la evaluación sistemática de una instalación industrial propuesta o existente, con el fin de identificar todo evento potencialmente peligroso y estimar los daños al personal, instalaciones, terceros y el ambiente, como consecuencias de fugas de sustancias tóxicas e inflamables, y así poder cuantificar el nivel de riesgo implícito mediante la estimación de la frecuencia de ocurrencia y de la magnitud de sus consecuencias.

Análisis de Árbol de Fallas, Es un método para identificar combinaciones de fallas de equipos y errores humanos que pueden resultar en un accidente, siendo por tanto una técnica deductiva que a partir de un evento particular, provee la metodología para determinar sus causas. El Arbol de Fallas en sí facilita una visión gráfica de las diferentes combinaciones de fallas de equipos y errores humanos que pueden conducir a un accidente.

Análisis de Modo de Falla y Efectos (FMEA), Está técnica consiste en identificar los modos de falla de los equipos y los efectos que estos producen sobre otros componentes y sobre el sistema completo de la planta.

Análisis Preliminar de Peligros (APP), El Análisis Preliminar de Peligros es una técnica cualitativa que permite identificar los peligros durante la etapa de Ingeniería Conceptual de un proyecto, con el fin que puedan ser evaluados posteriormente.

ASA, Aceite soluble en ácido

BI, Costes por paralización de la actividad

BLEVE, Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición "*BLEVE*", ocurre cuando en forma repentina se pierde el confinamiento de un recipiente que contiene un líquido sobrecalentado o un licuado a presión. La causa inicial de un *BLEVE* es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente sobre el nivel del líquido, esto hace fallar el material y permite la repentina ruptura de las paredes del tanque.



Bola de Fuego (Fireball), El evento de *Fireball* o bola de fuego resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor flamable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. El evento de fireball ocurre frecuentemente seguido a una Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición "BLEVE".

CCPS, Centro para la Seguridad del Proceso Químico.

Combustión, Oxidación por aire (comburente) rápida y muy exotérmica de materias (combustibles). Se manifiesta mediante la llama, que en los accidentes industriales es siempre turbulenta. Cuando la combustión se produce con aportación de combustible y comburente por separado, se producen las llamas de difusión; por el contrario, cuando se desarrollan en una mezcla ya existente de combustible y comburente, se producen llamas premezcladas. A su vez las llamas pueden ser estacionarias o progresivas si se desplazan en el espacio, a través de una mezcla de combustible-comburente existente (llama premezclada) o que se va formando (llama de difusión).

Concentración letal media (CL50), Es la concentración, obtenida por estadística, de una sustancia de la que puede esperarse que produzca la muerte, durante la exposición o en un plazo definido después de ésta, del 50% de los animales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado. El valor de la CL50 se expresa en peso de sustancia por unidad de volumen de aire normal (miligramos por litro, mg/L).

Curio (Ci), unidad de medida de la actividad radiactiva. Inicialmente se definió como la cantidad de radón que está en equilibrio con un gramo de radio, o la actividad de una cantidad de cualquier sustancia radiactiva que experimenta el mismo número de desintegraciones por unidad de tiempo que un gramo de radio. Esa definición sigue empleándose para la medida de dosis de radiación en medicina. En la física nuclear moderna, el curio (de símbolo Ci) se define con más precisión como la actividad de una cantidad de sustancia radiactiva en la que se desintegran $3,7 \times 10^{10}$ núcleos por segundo.

Datos Historicos de Accidentes., Datos recolectados y registrados de accidentes pasados.

Dosis, Es la cantidad de sustancia suministrada. La dosis se expresa en peso (gramos o miligramos) o en peso de sustancia por unidad de peso animal (por ejemplo, miligramos por kilogramo de peso corporal, mg/kg) o en concentración alimentaria constante (partes por millón, ppm o miligramos por kilogramo de alimento, mg/kg).

Elemento vulnerable, Se entiende por elementos vulnerables las personas, el medio ambiente y los bienes, que puedan sufrir daño como consecuencia de los accidentes mayores.



ERPG, Guías para la planificación de respuesta a emergencias, desarrolladas por la Asociación Norteamericana de Higiene Industrial (AIHA).

Estallido, De estallar: "henderse o reventar de golpe una cosa con chasquido o estruendo". Rotura brusca de un continente a presión, causado por la presión interior y fallo de la resistencia mecánica de la envolvente, que provoca una dispersión violenta del fluido interior, una onda de presión y proyectiles.

Estudio de Peligros Y Operabilidad (HAZOP), El HAZOP es un método de análisis cualitativo que permite identificar peligros potenciales y problemas operacionales de una instalación industrial. Está es una técnica que evalúa en forma sistemática todos los equipos, procedimientos operacionales y eventos generados por desviaciones a la intención del diseño.

Evaluación de riesgos, Proceso mediante el cual los resultados de un análisis de riesgos, son utilizados para tomar decisiones, ya sea a través de la clasificación relativa de estrategias de reducción de riesgos o mediante comparaciones con los objetivos del riesgo.

Evaluación Técnica de Seguridad Industrial, Las evaluaciones técnicas de seguridad industrial son una herramienta que permite verificar si la instalación y sus procedimientos de operación y mantenimiento cumplen con los estándares y prácticas de seguridad reconocidos. La técnica consiste en hacer una revisión completa de una planta, incluyendo inspecciones de las instalaciones y entrevistas con el personal clave involucrado en la operación y mantenimiento de la misma, con el fin de identificar los peligros más significativos.

Explosión, Equilibrado en un tiempo muy corto de una masa de gases en expansión contra la atmósfera que le rodea. Si la energía necesaria para la expansión de los gases procede de una reacción química, se dice que la explosión es química. Por el contrario, cuando la energía procede de alguna otra fuente, se trata de una explosión física. En este segundo caso se requiere que la materia esté confinada, mientras que en el primero no es necesario.

F1, Condiciones generales de proceso (reacciones, transportes, accesos etc).

F2, Los riesgos específicos del proceso/producto peligroso

F3, Factor de riesgo

FB, Factores de bonificación



FBE, Factores de bonificación

FCC, Planta Catalitica

FD, Factor de daño

FM, Factor Material

Fuga, Salida incontrolada de materias de continentes que hayan de ser estancos excepto a través de conexiones bajo control, lo que puede ocurrir por aparición de un orificio limitado o rotura catastrófica del continente.

Gerencia de la seguridad de los procesos (GSP), Un enfoque dirigido hacia la Gerencia de la Seguridad de los Procesos (GSP), es la mejor manera en que la industria puede protegerse contra los eventos peligrosos que pueden ocurrir en los procesos industriales. El GSP no solamente asiste a la industria en la prevención de eventos catastróficos, sino que también puede: mejorar el conocimiento del personal operativo, mejorar los procedimientos técnicos, mantener información de la seguridad de los procesos precisa, e incrementar la productividad de la instalación.

HF, Ácido Fluorhídrico

Identificación del peligro., Reconocimiento de características de materiales, sistemas, procesos y planta que pueden producir consecuencias indeseables por la ocurrencia de un accidente.

IDLH, Peligro inminente para la vida o salud; concentración máxima de la cual uno podría escapar dentro de 30 minutos sin experimentar para la salud efectos incapacitantes o irreversibles.

IIE, Índice de incendio y explosión.

IPVS (IDLH), Índice inmediatamente peligrosos para la vida y la salud. Concentración de una sustancia tóxica que representa el máximo nivel del que, en un periodo de tiempo de 30 minutos, un sujeto expuesto puede escapar sin síntomas graves ni efectos irreversibles para la salud. Se aplica para la protección por inhalación y se expresa en partes por millón (ppm) ó mg/m³.

Jet Fire, Si un gas licuado o comprimido es descargado de un tanque de almacenamiento o una tubería, el material descargado a través de un orificio o ruptura formaría una descarga a presión del tipo chorro



Llamarada (Flash Fire), Cuando un material volátil e inflamable es descargado a la atmósfera, se forma una nube de vapor y se dispersa. Si el vapor resultante se encuentra con una fuente de ignición antes de que la dilución de la nube sea menor al límite inferior de inflamabilidad, ocurre el *flash fire*. Las consecuencias primarias de un *flash fire* son las radiaciones térmicas generadas durante el proceso de combustión. Este proceso de combustión tiene una corta duración y los daños son de baja intensidad.

MAA, Mantenimiento menor al adecuado

MPDO, Máximos días de interrupción

MPP, Mantenimiento Preventivo Predictivo

MPPD, Daño máximo probable a la propiedad

MTBE, Metil terbutil eter

NFPA, Asociación Nacional de Protección Contra Incendios.

NOAA, Administración Oceánica y Atmosférica Nacional.

Ondas de presión, Compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico, que se traducen en efectos mecánicos transitorios sobre los elementos inertes o los seres vivos. Las ondas de presión son provocadas por las explosiones o por el equilibrado rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve.

Peligro, Característica de un sistema o proceso de material que representa el potencial de accidente (fuego, explosión, liberación tóxica).

Polímero, Una sustancia constituida por moléculas caracterizadas por la secuencia de uno o varios tipos de unidades monoméricas y que incluye una mayoría ponderal simple de moléculas que contiene al menos tres unidades monoméricas con enlaces de covalencia con otra unidad monomérica u otro reactante como mínimo y constituida por menos de una mayoría ponderal simple de moléculas del mismo peso molecular. Dichas moléculas deben repartirse en una distribución de pesos moleculares en las que las diferencias de peso molecular puedan principalmente atribuirse a diferencias en el número de unidades monoméricas. En el contexto de esta definición, se entenderá por "unidad monomérica" la forma reactada de un monómero en un polímero.

Pool Fire, Cuando un líquido inflamable se fuga de un tanque de almacenamiento o una tubería, se forma una alberca o charco. Al estar formándose el charco, parte del



líquido se comienza a evaporar siempre y cuando los vapores se encuentren arriba de su límite inferior de inflamabilidad y con una fuente de ignición se forma un incendio del charco, mientras se encuentran los vapores.

ppm, Partes por millón

Proyectiles, Se entiende como tal cualquier fragmento sólido que proceda de las inmediaciones del punto en el que se ha producido una explosión y que esté dotado de gran cantidad de movimiento. En función de su origen, se dividen a los proyectiles en primarios, cuando proceden de estructuras en inmediato contacto con la masa explosiva, como en el caso de estallidos, y secundarios, cuando proceden de estructuras cercanas a la zona de la explosión, que han sido fracturadas por la onda de sobrepresión, como en el caso de una explosión no confinada.

Radiación térmica, Ondas electromagnéticas, correspondientes a la banda de longitudes de onda entre 0,1 y 1000 m, originada por las sustancias a alta temperatura y en particular, por los productos de combustión, que pueden afectar perjudicialmente a seres vivos e instalaciones a distancia.

Riesgo, Medida de pérdida económica o daño a los humanos en términos tanto de la posibilidad de incidente como la magnitud de la pérdida o herida.

TMPS, Trimetilpentanos

Toxicidad aguda, La toxicidad aguda incluye los efectos nocivos que se manifiestan durante un periodo dado (habitualmente 14 días) después de la administración de una dosis única de una sustancia.

UVCE, Explosión por una Nube de Vapor "VCE", puede definirse simplemente como una explosión que ocurre en el aire y causa daños de sobrepresión.

Zona definida o zona de influencia, La zona abarcada por el radio (o envolvente o en su caso), que delimita los alcances de los valores umbrales del riesgo en el caso de producirse la situación de accidente más desfavorable sobre la base de los Estudios de Seguridad y Análisis Cuantitativo del Riesgo (en su caso).