



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

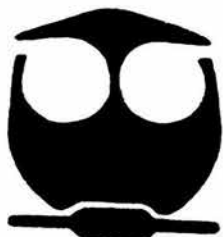
"REALIZACION DE UN ANALISIS DE RIESGOS
OPERACIONALES A LA SECCION DE PRETRATAMIENTO DE
UNA PLANTA DE ALQUILACION"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A :

ARTURO CORTES GONZALEZ



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

MEXICO, D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

JURADO ASIGNADO

Presidente.	Prof.	Jaime Medina Oropeza
Vocal.	Prof.	Modesto Javier Cruz Gómez
Secretario.	Prof.	Baldomero Pérez Gabriel
1er. Suplente.	Prof.	Eduardo Flores Palomino
2o. Suplente.	Prof.	Abraham Rodrigo Flores Ramos

SITIO DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

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

Refinería "Ing. Antonio Dovalí Jaime", Salina Cruz, Oaxaca.

Asesor.


Dr. Modesto Javier Cruz Gómez.

Sustentante.


Arturo Cortés González.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recensional.

NOMBRE: Arturo Cortés G/2

FECHA: 13 / FEBRERO / 04

FIRMA: 

Agradecimientos a la Universidad



Ahora me doy cuenta de que la voz que he estado escuchando desde que nací es ésta. Y ésta la compañía de todas mis horas... Pero nunca, hasta hoy, había yo venido a la casa de su albedrío. Y me quedo aquí, con los ojos bajos porque es así como el respeto mira a lo que es grande.

Baltín Canán (Rosario Castellanos)

Agradecimientos a la vida

*Lo más bello es la perfecta justicia;
Lo mejor la salud;
Pero lo más deleitoso es alcanzar lo que se
ama.*

Élica Eudemia

*Agradezco a la vida que me permita tener esta
oportunidad de brindarle a mi "Santísima Trinidad",
ésta tesis como un tributo de respeto y lealtad.*

Madre... gracias por darme la vida;

*México... gracias por brindarme una tierra tan maravillosa en
donde vivir;*

*UNAM... gracias por enseñarme a vivir de una manera tan
increíblemente fantástica.*



ÍNDICE		I
ABREVIATURAS		IV
INTRODUCCIÓN		V
CAPÍTULO I		
MARCO TEÓRICO		
1.1	ACCIDENTES MAYORES	1
1.1.1	Definición	1
1.1.2	Clasificación	2
1.1.3	Causas de los Accidentes	5
1.1.3.1	Causas Básicas	5
1.1.3.2	Causas Inmediatas	6
1.1.4	Teorías de los Accidentes	6
1.1.5	Escenario de los Accidentes	9
1.1.6	Pérdidas de los Accidentes	13
1.2	RIESGOS	14
1.2.1	Definición	14
1.2.2	Clasificación	15
1.2.3	Criterios y Parámetros	16
1.2.4	Métodos para Administrar los Riesgos	20
1.3	ANÁLISIS DE RIESGOS	23
1.3.1	Definición	23
1.3.2	Delimitación	24
1.3.3	Procedimiento General	24
1.3.4	Información Requerida	27
1.3.5	Herramientas	27
1.3.5.1	Técnicas	27
1.3.5.1.1	Características Básicas	27
1.3.5.1.2	Técnicas Cualitativas	30
1.3.5.1.2.1	Análisis Histórico de Accidentes	30
1.3.5.1.2.2	Análisis HazOp	32
1.3.5.1.3	Técnicas Cuantitativas	35
1.3.5.1.3.1	Índice DOW de Fuego y Explosión	35



1.3.5.1.3.2	Árbol de Fallas	37
1.3.5.1.3.3	Árbol de Sucesos	40
1.3.5.2	Análisis de Consecuencias	43

CAPÍTULO II

TRABAJO DE CAMPO

2.1	ACTIVIDADES INICIALES	50
2.1.1	Definición de Alcances	50
2.1.2	Metodología Particular	50
2.1.3	Compilación de Información	52
2.1.3.1	Sección de Pretratamiento de Carga	52
2.1.3.1.1	Descripción Detallada del Proceso	52
2.1.3.1.2	Reactor Hydrisom	55
2.1.3.1.3	Torre de Destilación	57
2.1.3.1.4	Secadores de Alimentación de Carga	57
2.1.3.2	Información Adicional	60
2.2	ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES	61
2.3	ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	72
2.4	ANÁLISIS HAZOP	79
2.5	ÁRBOL DE FALLAS	104
2.6	ÁRBOL DE SUCESOS	108
2.7	ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	112

CAPÍTULO III

	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	119
3.1	ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES	119
3.2	ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	120



3.3	ANÁLISIS HAZOP	121
3.4	ÁRBOL DE FALLAS	122
3.5	ÁRBOL DE SUCESOS	122
3.6	ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	123
3.7	ESTIMACIÓN DEL RIEGO	124
CAPÍTULO IV		
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	125
	BIBLIOGRAFÍA	130
	A. Libros	
	B. Manuales	
	C. Revistas	
	D. Páginas de Internet	
	APÉNDICES	132
	A. Lista de Actividades Altamente Riesgosas	
	B. Clasificación de Riesgos	
	C. Formato para el Índice DOW	
	D. Información Adicional del Árbol de Fallas	
	E. Formas de Progresión de Accidentes	
	F. Hojas de Datos de Seguridad	
	G. Costos de Equipos	
	H. Diagramas	
	GLOSARIO	161



ABREVIATURAS

SIGLAS	SIGNIFICADO
API	American Petroleum Institute
AC	Análisis de Consecuencias
AF	Árbol de Fallas
AS	Árbol de Sucesos
BM	Banco Mundial
DFP	Diagrama de Flujo de Procesos
DGLE	Diagrama General de Localización de Equipo
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
EPA	Environmental Protection Agency (Agencia de Protección Ambiental)
FAR	Fatal Accident Rate (Tasa de Accidentes Mortales)
HAZOP	Hazard and Operability (Peligros y Operabilidad)
HDS	Hojas de Datos de Seguridad
INE	Instituto Nacional de Ecología
LFT	Ley Federal del Trabajo
LGEEPA	Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad
LS	Ley General de Salud
LSI	Límite Superior de Inflamabilidad
MARS	Major Accident Retorting System (Sistema de Reporte de Accidentes Mayores)
MIDHAS	Major Historical Incident Data Service (Servicio de Datos de Incidentes Históricos Mayores)
MON	Motor Octane Number (Número de Octano del Motor)
OIT	Organización Internacional de la Salud
OSHA	Occupational Safety And Health Administration (Administración de la Salud y la Seguridad Ocupacional)
PHAST	Process Hazard Analysis Safety Tool (Herramienta de Seguridad para el Análisis de Peligros de Procesos)
PROBIT	Probability Unit (Unidad de Probabilidad)
PRONAPAARA	Programa Nacional para la Prevención de Accidentes de Alto Riesgo Ambiental
RON	Research Octane Number (Número de Octano de la Investigación)
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales



INTRODUCCIÓN

El fuego es el primer proceso químico utilizado por el ser humano. Con el uso del fuego vino el desarrollo de la cerámica, después el de los metales y el vidrio. Pero no fue hasta el siglo XVIII con la revolución industrial (en Inglaterra) que el hombre cambió de manera radical su vida. En este siglo la creación de la máquina de vapor cambió la manera de producción, pasando de una producción artesanal a una en serie y masiva. Posteriormente el descubrimiento de la electricidad y sus usos hicieron que esta energía, se incorporara a la industria casi inmediatamente.

En el siglo pasado, la creciente sed de energía se sació con el petróleo, el cual estaba asociado a la producción de máquinas de combustión interna, que llevaron a la creación del automóvil y del avión.

Con la creación en serie de los automóviles, la obtención de gasolina solamente por destilación directa fue insuficiente y de muy baja calidad, lo que implicó buscar nuevas formas de producir más y de mejor calidad, dando origen a lo que hoy conocemos como Refinerías.

Una refinería está dividida en tres etapas: la primera etapa se trata de los procesos de Destilación Atmosférica y de Vacío; la segunda etapa que se conoce como "Conversión de Aceites Pesados", es en donde se llevan a cabo los procesos de Desintegración Catalítica, Hidrodesintegración, Reductora de Viscosidad y Coquización (en donde se obtiene la mayor cantidad de la gasolina) y finalmente; la tercera etapa, en la cual se mejora la calidad de la gasolina por lo que se conoce como "Conversión de Calidad", en esta etapa se encuentran los procesos de Reformación Catalítica, Alquilación e Isomerización.

Pero, ¿todo este avance tecnológico hubiera sido posible sin el desarrollo de la Seguridad Industrial? Para contestar a esto, es necesario recordar que la industria se desarrolló con la finalidad de generar ganancias económicas en función de la producción de bienes socialmente útiles y los accidentes dañan estas ganancias. Además de este enfoque, se genera otro, que señala la comprensión de los trabajadores en que regresar seguro a casa del trabajo es un derecho indiscutible.

Para conciliar estos dos intereses tanto los trabajadores como la empresa llegaron a un acuerdo en indagar sobre los orígenes de los accidentes que dañan a ambos.



Al estudiar los accidentes se dieron cuenta que se podían distinguir tres características básicas en todos ellos, permitiendo así, un mejor entendimiento y comprensión para actuar de una manera más adecuada y segura que sirva en la reducción o eliminación del riesgo. Así, son sucesos indeseados, tienen causas iniciales perfectamente definidas, que siguen una secuencia lógica y que el resultado de esta secuencia es el daño.

Este análisis se basa en conocimientos de las causas y su probable secuencia. Dichas causas se han podido dividir en dos grandes grupos que son: las causas básicas, que son las que dan inicio al evento o suceso, y las causas intermedias que son los síntomas que se presentan antes de que se haga presente el suceso indeseado.

Los accidentes pueden ser de distinta índole, lo que sugiere que deberían ser clasificados de tal manera que permita seguirlos hasta sus causas más básicas, ya que no es lo mismo seguir una torcedura o descalabro que un incendio o explosión. El tipo de accidentes que nos atañe son los conocidos como accidentes mayores que (según una definición de la SEMARNAT) son: *"un incendio, explosión, fuga o derrame súbito que resulte de un proceso en el curso de las actividades de cualquier establecimiento, ..., en las que intervengan uno o varios materiales peligrosos y que se supongan un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes, el ambiente y los ecosistemas."* Pero, aun estos tienen que tener categorías, que nos permitan clasificarlos nuevamente a partir de los posibles daños que se pudieran tener y, de esta manera establecer las prioridades a la hora de repartir los recursos que sirvan para reducirlos o eliminarlos.

Para señalar las categorías en las que se pudieran establecer los accidentes encontrados es necesario simular los daños que probablemente tendrían, lo cual se hace a partir de la descripción de los escenarios en los que se llevarían a cabo y el uso de modelos matemáticos que establecen su comportamiento.

El encontrar los posibles y/o probables accidentes se ha vuelto una tarea cotidiana en la Industria Química, que recae en un método creado para este fin. Este método se conoce como *"Análisis de Riesgos"*, que no es otra cosa que el separar el accidente supuesto en sus partes para definir sus causas básicas, la secuencia más lógica que siguen estas y los daños más probables que se pudieran tener.



La metodología del *Análisis de Riesgos* puede variar ligeramente de un autor a otro, pero básicamente consta de cuatro etapas que son:

- 1) Identificación de peligros
- 2) Análisis de causas
- 3) Análisis de consecuencias
- 4) Estimación del riesgo

El Análisis de Riesgos está basado en una serie de técnicas que se pueden utilizar de manera progresiva y/o combinada. Estas se pueden dividir (de acuerdo a sus resultados) en dos grandes grupos que son: las de análisis cualitativo, que permiten descubrir los accidentes potenciales y sus causas, en donde los riesgos pueden ser fácilmente evaluados; y las de análisis cuantitativo, que permiten descubrir los accidentes potenciales que no pueden ser evaluados por el método anterior, es decir, en donde el establecer de manera económica el posible daño permite comprender mejor que las correcciones que se hagan son realmente necesarias y justificadas.

Las técnicas son de tan distinta índole que su aplicación depende de varios factores, entre los que se encuentran: el tiempo dedicado al estudio, la profundidad del estudio requerido por la empresa, los recursos disponibles (tanto humanos como económicos), las condiciones de las instalaciones, etc.

Las técnicas que se van a aplicar en esta tesis son: Análisis Histórico de Accidentes, Índice DOW de Fuego y Explosión, Análisis HazOp, Árbol de Fallas y Árbol de Sucesos. Además se usará un simulador comercial conocido como PHAST que nos permitirá establecer las consecuencias de los accidentes encontrados.

JUSTIFICACIÓN

- Debido a la complejidad de las industrias petroleras, se ha hecho patente la necesidad de identificar y evaluar los accidentes mayores potenciales que encierran sus instalaciones.
- Establecer que toda área de la Refinería en donde se manejen sustancias químicas peligrosas debe ser tratada con objetividad en un *Análisis de Riesgos*.
- Con el *Análisis de Riesgos* se espera obtener la información mínima suficiente para generar recomendaciones, que eliminen o reduzcan los riesgos de accidentes a un valor aceptable.



OBJETIVOS

Los objetivos de ésta tesis son:

- Identificar y evaluar los posibles y/o probables accidentes que pueden existir en la sección de pretratamiento de carga de una planta de alquilación.
- Estimar el valor de riesgo que se tiene en la sección de pretratamiento.

METAS

Las metas que se persiguen son las siguientes:

- A partir de las técnicas cualitativas establecer las causas más posibles que pudieran generar el daño.
- A partir de las técnicas cuantitativas establecer una estimación económica de las más probables consecuencias.

LÍMITACIONES DEL ESTUDIO

Las limitaciones del estudio son las siguientes:

- El estudio se enfocará en lo referente a las condiciones de operación normal, sin considerar mantenimiento, paros de emergencia y programadas, etc.
- Sólo se estudiarán de manera progresiva aquellos accidentes potenciales que a través del estudio se consideren más importantes. La importancia será en función de los siguientes factores: importancia para la operación correcta de la planta, información disponible, complejidad requerida por el análisis, tiempo y recursos disponibles.
- Parte de la información del proceso se muestra sólo den forma genérica o resumida, con el objeto de no revelar información confidencial.
- Debido a que el uso efectivo y correcto de las técnicas depende de la experiencia de quien las aplica, es necesario tomar los resultados de manera objetiva y no subjetiva.



CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 ACCIDENTES MAYORES

1.1.1 DEFINICIÓN ^{7,27,28,32}

En el ámbito industrial existe una gran variedad de definiciones que se pueden utilizar para explicar lo que es un accidente. La utilización de cada una dependerá del enfoque que se este analizando, ya que se le puede ver desde el punto de vista médico, legal, ambiental etc. He aquí algunas de estas definiciones.

“hecho súbito que ocasione daños a la salud, y que se produzca por la ocurrencia de condiciones potencialmente prevenibles”, (Ley General de Salud, Art. 162);

“toda lesión orgánica o perturbación funcional, inmediata o posterior; o la muerte, producida repentinamente en ejercicio, o con motivo del trabajo, que cualesquiera que sean el lugar y el tiempo en que se presente”, (Ley Federal del Trabajo Art. 474);

“cualquier acontecimiento que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema”, (Santamaría, 1994-12);

“un evento no deseado y no direccionado que provoca daño a personas, objetos o ambos, interrumpiendo la continuidad de las tareas actuales o futuras que le están siendo o le serán requeridos a tales objetos o personas y que es el causante de grandes pérdidas y controversia”, (Ver referencia 32)

A pesar de que cada definición tiene una connotación diferente, pueden distinguirse en todas, tres características básicas que se encuentran en los accidentes, es decir, son eventos indeseados, que tienen causas secuenciales y producen daños.



Explicando un poco más estas características, tenemos que:

Evento no deseado. Es un acontecimiento que está fuera de control, que no tiene tiempo ni lugar de ocurrencia. En ésta clase de eventos no están considerados los asociados a desastres naturales, ni tampoco acciones voluntarias (actos de sabotaje), así como deja fuera los casos de negligencia de diseño o de construcción.

Causas secuenciales. La causa es la razón del accidente que puede tener su origen en los factores técnicos (fallas mecánicas o eléctricas, etc.) y/o humanos (actos inseguros, problemas administrativos, etc.). Pero, además no es una sola causa, sino varias, que al combinarse de manera lógica culminan en la materialización del accidente.

Produce daños. Los daños surgen cuando la sustancia o energía superan la resistencia límite de las personas o estructuras con las que tiene contacto.

La magnitud de los daños depende de que tan superior sea la sustancia o energía a la resistencia límite. A esta magnitud se le conoce con el nombre de pérdida, que no es otra cosa que la valoración económica y no económica de todos los efectos (físicos, psicológicos, económicos, legales, funcionales, ambientales, etc.) del accidente.

Por lo tanto, agrupando estas tres características en una definición en sentido general, podemos decir que un accidente es:

Un acontecimiento inesperado que tiene origen en errores humanos, fallas técnicas o en una combinación de ambas, que al seguir una secuencia lógica predecible, puede sobrepasar los límites de resistencia de las personas e instalaciones generando con ello un daño.

1.1.2 CLASIFICACIÓN ^{2,3,13b,14}

A partir de varios intentos que se realizaron a través del mundo, se logró en octubre de 1962 en la décima Conferencia Internacional de Estadígrafos del Trabajo, convocada por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), la clasificación de los accidentes de trabajo en función de sus causas de origen. Esto se alcanzó con arreglo a cada uno de los siguientes aspectos: forma del accidente, agente material, naturaleza de la lesión y ubicación de la lesión.



Esta clasificación es muy útil para el análisis de los post-accidentes, pero no para definir las causas de los pre-accidentes, originando así, una nueva clasificación que permita dividir los accidentes de trabajo en dos grandes grupos (PEMEX, 1995-3), que son:

Accidentes menores: Son aquellos que producen daños leves al personal o a las instalaciones, que producen incapacidad parcial o total temporal en los primeros y daños inferiores por un monto total previamente establecido en los segundos.

Accidentes mayores: Son aquellos que causan lesiones graves tales como incapacidad total permanente e incluso la muerte a los trabajadores o a terceros así como daños en los bienes de éstos y/o daños materiales importantes a las instalaciones o al medio ambiente iguales o superiores a un monto total previamente establecido.

Estos últimos son originados por incendios, explosiones o fugas de sustancias tóxicas, teniendo la característica principal de que pueden sobrepasar los límites de las instalaciones.

Los accidentes mayores se pueden diferenciar de los menores no sólo por la gravedad de sus consecuencias, sino también por su frecuencia, ya que son eventos que no ocurren comúnmente, es decir, de baja frecuencia.

Para los fines de esta tesis, el tipo de accidentes que interesan son los que caen en los denominados accidentes mayores.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) ha definido de una manera más adecuada lo que se considera como un accidente mayor.

Un accidente mayor es un incendio, explosión, fuga o derrame súbito que resulte de un proceso en el curso de las actividades de cualquier establecimiento,..., en las que intervengan uno o varios materiales peligrosos y que se supongan un peligro grave (de manifestación inmediata o retardada, reversible o irreversible) para la población, los bienes al ambiente y los ecosistemas. (Cortinas de Nava, 1990-15)

Los accidentes mayores están constituidos por tres clases de fenómenos: incendio, explosión y liberación de sustancias tóxicas. La SEMARNAT que a parte de dar una definición que engloba las tres



clases, establece una lista de características por las cuales los accidentes se consideran mayores. (Ver tabla 1.1.1)

TABLA 1.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ACCIDENTES MAYORES

- Cualquier liberación de una sustancia peligrosa, en la que la cantidad total liberada sea mayor a la que se haya fijado como umbral o límite (cantidad de reporte o de control).
- Cualquier fuego mayor que de lugar a la elevación de radiación térmica en el lugar o límite de la planta, que exceda de 5 KW/m² por varios segundos.
- Cualquier explosión de vapor o gas que pueda ocasionar ondas de sobrepresión iguales o mayores de 1 lb/pulg².
- Cualquier explosión de una sustancia reactiva o explosiva que pueda afectar a edificios o plantas, en la vecindad inmediata, tanto como para dañarlos o volverlos inoperantes por un tiempo.
- Cualquier liberación de sustancias tóxicas, en la que la cantidad liberada pueda ser suficiente para alcanzar una concentración igual o por arriba del nivel que representa un peligro inmediato para la vida o la salud humana (IDLH por sus siglas en inglés), en áreas aledañas a la fuente emisora.

Cortinas de Nava, Promoción de la Prevención de Accidentes Químicos, México 1990

Estas características de accidentes mayores son muy difusas, ya que no es lo mismo que se escape una cantidad de sustancia peligrosa un poco superior a la cantidad señalada como cantidad de reporte, que si se escapara una cantidad 1000 veces superior, por lo cual, es necesario nuevamente clasificarlos y para ello se requiere tomar en cuenta las consecuencias de dichos accidentes.

Algunos países, como España, clasifican los accidentes mayores en cuatro categorías (Casal, 2001-80), que son:

CATEGORÍA 0. Aquellas situaciones anómalas, en las que existen escapes o explosiones que provocan daños materiales de poca importancia y no representan en ningún momento un riesgo para los trabajadores, las instalaciones o su entorno. A los accidentes de esta categoría se les suele denominar incidentes, que son situaciones que quedan controladas desde sus inicios.

CATEGORÍA 1. Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como única consecuencia, daños materiales en la instalación industrial accidentada. Los daños asociados a la emisión, el escape, el vertido y la explosión quedan, pues, dentro de los límites de la propiedad de la instalación industrial; no se producen víctimas ni heridos.

CATEGORÍA 2. Aquellos accidentes en los que habrá, como consecuencia, posibles víctimas y daños materiales en la instalación industrial. Las repercusiones en el exterior se limitan a daños leves o efectos adversos sobre el medio ambiente, en zonas limitadas.



CATEGORÍA 3. Aquellos accidentes en los que se prevé que habrá, como consecuencia, posibles víctimas, daños materiales o alteraciones graves del medio ambiente en zonas extensas, en el exterior de la instalación industrial.

1.1.3 CAUSAS DE ACCIDENTES ^{27,28}

El avance de la tecnología proporciona mejoras operacionales, tanto en equipos como en instrumentos de control de procesos, ocasionando con ello, una disminución de la probabilidad de sufrir algún accidente. Esta disminución no es del todo buena, ya que ofrece una falsa sensación de seguridad que hace que obreros, técnicos e inclusive ingenieros descuiden los procedimientos correctos de operación de las instalaciones, aumentando así nuevamente su peligrosidad.

La falsa sensación de seguridad, obliga a recordar que los accidentes son causales y no casuales, es decir, el origen se encuentra en las causas reales (fallas de equipos y errores humanos) y no en los fenómenos sobrenaturales o en el azar. La importancia de conocer las causas radica en que, gracias al conocimiento de su existencia es posible el control del accidente, es decir, que el accidente sucede porque tienen causas perfectamente definidas que al evitar que una de esas se manifieste se rompe la secuencia, evitando su materialización. Las causas que pueden generar un accidente se pueden dividir en dos grandes grupos: **las causas básicas y las causas inmediatas.**

1.1.3.1 CAUSAS BÁSICAS

Las causas básicas son las que permiten explicar por que sucede lo indeseable, es decir, son los eventos iniciales, los que dan principio a la secuencia de sucesos que culminan en el accidente. Dichas causas pueden dividirse en dos grupos que son: **factores personales y factores de trabajo.** (Ver tabla 1.1.2)

Factores personales: Son aquellos que dan origen a que las personas no actúen a favor de los intereses preventivos. Estos se pueden generar en la capacitación, en la toma de decisiones y en las relaciones laborales de los empleados.

Factores de trabajo: Son aquellos que explican el porque de las condiciones o situaciones inadecuadas existentes. Estos se pueden generar en la computadora o en el tablero de control, en la adquisición de productos y servicios riesgosos, y en la deficiencia en los planes de mantenimiento.



TABLA 1.1.2 RELACION DE CAUSAS BÁSICAS	
FACTORES PERSONALES	FACTORES DE TRABAJO
<ul style="list-style-type: none"> • Falta de conocimiento o de capacidad para desarrollar el trabajo que se tiene encomendado. • Falta de motivación o motivación inadecuada. • Tratar de ahorrar tiempo o esfuerzo y/o evitar incomodidades. • Lograr la atención de los demás, expresar hostilidades. • Existencia de problemas o defectos físicos o mentales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de normas de trabajo o normas de trabajo inadecuadas. • Diseño o mantenimiento inadecuado de las máquinas y equipos. • Hábitos de trabajo incorrectos. • Uso y desgaste normal de equipos y herramientas. • Uso anormal e incorrecto de equipos, herramientas e instalaciones.

¿Porqué Ocurren los Accidentes? www.auspa.org.uy/información/publicación2.htm

1.1.3.2 CAUSAS INMEDIATAS

Las causas inmediatas son las que permiten señalar la posibilidad de sufrir un accidente. Al igual que las causas básicas, se pueden dividir en dos grandes grupos, que son: **actos inseguros y condiciones inseguras**. (Ver tabla 1.1.3)

Actos inseguros: Son aquellos originados por el comportamiento de las personas que vulnera el procedimiento aceptado como seguro y que posibilita que suceda el accidente.

Condiciones inseguras: Son aquellas que manifiestan que los factores materiales inseguros, de forma inmediata, pueden proporcionar accidentes. En definitiva, son situaciones por debajo de estándares admitidos como seguros en los procedimientos, equipos, materiales y ambiente de trabajo.

1.1.4 TEORÍAS DE LOS ACCIDENTES ^{28,32}

El saber que, las causas básicas son los motivos o razón de ser de los accidentes y las causas inmediatas son los síntomas de éste, es un paso importante en la prevención del accidente, más sin embargo, cabe preguntarnos, ¿todas las causas (tanto básicas como inmediatas) al presentarse terminan en accidentes? Para contestar a esto es necesario conocer la secuencia o cadena causal del evento.

A pesar de que toda fuente última de un accidente es el hombre, una gran cantidad de investigadores tanto de la ciencia como de la técnica han tratado de establecer causas generales, que se puedan aplicar a todos los sectores industriales, dando así inicio a las teorías sobre la secuencia de los accidentes.



TABLA 1.1.3 RELACIÓN DE CAUSAS INTERMEDIAS

ACTOS INSEGUROS	CONDICIONES INSEGURAS
<ul style="list-style-type: none"> • Realizar trabajos para los que no se está debidamente autorizado. • Trabajar en condiciones inseguras o a velocidades excesivas. • No dar aviso de las condiciones de peligro que se observen, o no señalizadas. • No utilizar, o anular, los dispositivos de seguridad con que van equipadas las máquinas o instalaciones. • Utilizar herramientas o equipos defectuosos o en mal estado. • No usar las prendas de protección individual establecidas o usar prendas inadecuadas. • Gastar bromas durante el trabajo. • Reparar máquinas o instalaciones de forma provisional. • Realizar reparaciones para las que no se está autorizado. • Adoptar posturas incorrectas durante el trabajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta o inadecuadas protecciones y resguardos en las máquinas e instalaciones. • Falta de sistema de aviso, de alarma, o de llamada de atención. • Falta de orden y limpieza en los lugares de trabajo. • Escasez de espacio para trabajar y almacenar materiales. • Almacenamiento incorrecto de materiales. • Niveles de ruido excesivos. • Iluminación inadecuada (falta de luz, lámparas que deslumbran ...) • Falta de señalización de puntos o zonas de peligro. • Existencia de materiales combustibles o inflamables, cerca de focos de calor. • Huecos, pozos, zanjas, sin proteger ni señalizar. • Pisos en mal estado; irregulares, resbaladizos, desconchados.

¿Porqué Ocurren los Accidentes? www.auspa.org.uy/información/publicación2.htm

Una de estas teorías surgió en la década de los 30's, generada por el Ingeniero Industrial Herbert W. Heinrich, conocida como *La Teoría del "Efecto Domino"*, que presenta una secuencia de cinco factores en el accidente en la que cada factor actúa sobre el siguiente de manera similar a como lo hacen las fichas de domino, que van cayendo una sobre otra. Los factores a los que se hace alusión son: la personalidad del obrero, las condiciones inseguras, las acciones inseguras, el accidente y la lesión.

También en esta misma teoría Heinrich señala que la solución para evitar el accidente es retirar por lo menos una de las fichas, la cual, interrumpiría la continuidad de la serie. Él propone que la ficha a eliminar sea la de las condiciones o acciones inseguras.

Otra teoría que fue diseñada 30 años después, a partir de la propuesta de Heinrich, por Frank Bird, conocida como *Teoría de la Causalidad Múltiple*, establece que por cada accidente pueden existir numerosos factores, causas y subcausas, así como una combinación de éstas, que contribuyen a su aparición.

En ésta teoría Frank Bird agrega algunas mejoras a la teoría del "efecto dominó", como son:



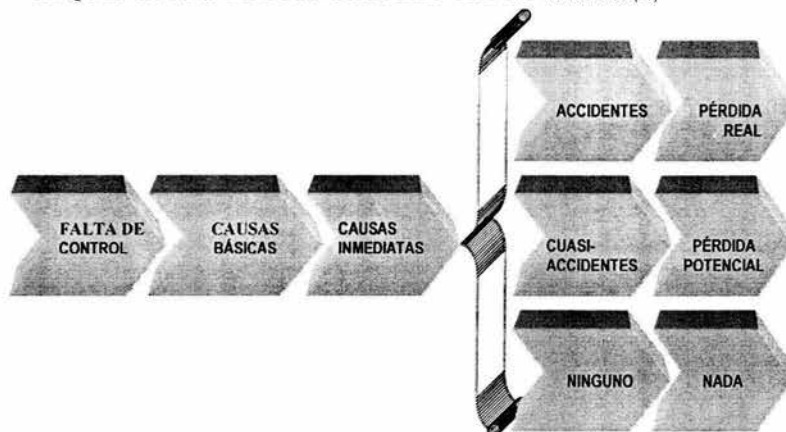
conjuntar en las pérdidas todos los daños que puede sufrir la empresa, tanto económicos como no económicos, conjuntar las condiciones y acciones inseguras en las llamadas causas inmediatas, establecer que no solamente existen los factores personales (personalidad) como causa básica, sino que hay otro tipo de factores que denominó factores técnicos y además señala que el origen de los accidentes es la falta de control, ya que los son, dice, *el resultado de fallas, omisiones y debilidades de nuestros sistemas, planes, programas y procedimientos elaborados por la organización.*

En la actualidad esta teoría ha sufrido algunas variaciones, señalando que: no siempre que exista una condición o una acción insegura ocurrirá necesariamente un accidente (ver esquema 1.1.1). Las variaciones de esta teoría permiten señalar que la materialización o culminación de la secuencia causal tiene la posibilidad de transformarse en las tres alternativas siguientes:

- Que la acción y/o la condición insegura se transformen en causa real de un accidente, originando como consecuencia pérdidas reales.
- Que la acción y/o la condición insegura desencadenen un acontecimiento no deseado, pero, o no se produjo el contacto o si se produjo (cuasi-accidente) la energía involucrada no superó la resistencia límite ni de personas ni de estructuras, y por lo tanto solo tenemos pérdidas potenciales.
- Que la acción y/o la condición insegura no desencadenen ningún acontecimiento no deseado, en esta oportunidad.

En esta teoría surge claramente la explicación de la ocurrencia del accidente en función de la probabilidad de ocurrencia de sus causas.

Existen otro tipo de teorías que han tratado de explicar el origen de los accidentes en relación a la complejidad de las instalaciones, considerando las interacciones entre sus componentes, etc. (Ver referencia 32)

**ESQUEMA 1.1.1 SECUENCIA PROPUESTA** Ver referencia (28)**1.1.5 ESCENARIOS DE LOS ACCIDENTES** 2,13a

Los escenarios se pueden agrupar en las tres clases de accidentes que se señalaron en el apartado 1.1.2 (incendio, explosión o dispersión de sustancia tóxica), es decir, dependiendo del fenómeno peligroso que caracterice al accidente.

En general, los accidentes mayores están relacionados con los siguientes tipos de fenómenos peligrosos:

a. De tipo térmico.

Los fenómenos térmicos son provocados por la oxidación rápida, no explosiva, de sustancias combustibles, produciendo llama, que puede ser estacionario o progresiva, pero que en todos los casos disipan la energía de combustión mayoritariamente por radiación e incrementándose la temperatura de las materias.

b. De tipo mecánico.

El principal efecto mecánico es la onda de presión que consiste en compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico, que se traduce en sollicitaciones mecánicas transitorias sobre los elementos inertes o los seres vivos provocando la deformación, roturas, desplazamiento, etc. Otro efecto mecánico es la emisión de proyectiles.



c. De tipo químico.

Entre los fenómenos químicos peligrosos debidos a las fugas o vertidos incontrolados de sustancias que directamente o indirectamente a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas pueden provocar efectos del tipo: tóxicos, irritantes, narcóticos, cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos, corrosivos y bioacumulables.

Estos fenómenos pueden desarrollarse de distintas formas, por lo cual, es necesario describirlos (Casal, 2001-84).

a. Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico

- **Incendio de un charco (Pool Fire).** Combustión estacionaria con llama de difusión del líquido de un charco de dimensiones conocidas (extensión), que se produce en un recinto descubierto.
- **Dardo de fuego (Jet Fire).** Llama estacionaria y alargada (de gran longitud y poca amplitud) provocada por la ignición de un chorro turbulento de gases o vapores combustibles.
- **Llamarada (Flash Fire).** Llama progresiva de difusión, de baja velocidad. No produce ondas de presión significativas. Suele estar asociada a la dispersión de vapores inflamables a ras de suelo. Cuando éstos encuentran un punto de ignición, el frente de la llama generado se propaga hasta el punto de emisión, barriendo y quemando toda la zona ocupada por los vapores en condiciones de inflamabilidad.
- **BLEVE-Bola de fuego (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion-Fireball).** Este escenario se refiere a la bola de fuego que se produce por el estallido súbito y total, por calentamiento externo, de un recipiente que contiene un gas licuado a presión, cuando el material de la pared pierde resistencia mecánica y no puede resistir la presión interior. El calentamiento externo es generalmente producido por un incendio de charco o de dardo de fuego, y la probabilidad de que estalle es especialmente elevada en los casos en los que hay un contacto directo de la llama con la superficie del recipiente.



b. Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico

- **Explosión** (en general, sin especificar). Las explosiones tienen dos orígenes, que son: si la energía necesaria para la expansión es una explosión química; es el caso de las explosiones derivadas de fenómenos de combustión donde están involucradas gases inflamables, de explosiones derivadas de reacciones incontroladas y de explosiones asociadas a la ignición o descomposición de sustancias explosivas y si la energía procede de la liberación repentina de un gas comprimido o de la expansión rápida de vapores, se trata de una explosión física (este último tipo de explosión se denomina estallido).
- **Las explosiones pueden ser de dos tipos: deflagraciones**, cuando la velocidad de combustión es relativamente lenta (del orden de 1 m/seg), o **detonaciones (estallidos)**, en las que la velocidad de la llama es extremadamente elevada (por ejemplo 2 a 3 mil m/seg); siendo el poder destructivo de las detonaciones mucho mayor que el de las deflagraciones
- **Explosión de una nube de vapor inflamable no confinada** (UVCE, Unconfined Vapor Cloud Explosion). Tipo de explosión química que involucra una cantidad importante de gas o vapor en condiciones de inflamabilidad, que se dispersa por el ambiente exterior. Para que esto ocurra, a grandes rasgos, la cantidad de gas tiene que superar el valor de algunas toneladas. Cuando no es así, normalmente la ignición de la masa de vapor deriva en una llamarada sin efectos mecánicos importantes. En general, este tipo de accidentes se asocian a situaciones que determinan el escape masivo de gases licuados, gases refrigerados y líquidos inflamables muy volátiles (con una intensa evaporación), ya que en estas circunstancias se pueden generar una gran cantidad de vapores inflamables en un breve período de tiempo.
- **Explosión de vapor confinado** (CVE, acrónimo de la expresión Confined Vapor Explosion). Tipo de explosión química que involucra gases inflamables en condiciones de confinamiento (total o parcial). Normalmente se asocia a explosiones derivadas de la combustión en recintos cerrados de vapor inflamable (naves industriales, cámaras de aire de depósitos, sistemas de drenaje contaminados por productos volátiles, etc.).
- **Estallido de contenedor a presión** Explosión física derivada de la rotura repentina de un recipiente a presión, causada por la presión interior y por un fallo de la resistencia mecánica



del contenedor, que provoca una dispersión violenta del fluido interior, una onda de presión y proyectiles.

- **BLEVE.** Fenómeno de estallido normalmente asociada a la situación accidental descrita antes con el apelativo añadido de bola de fuego. Puede suceder también con sustancias licuadas a presión y no inflamables cuando, en determinadas situaciones de presión y temperatura, el recipiente que las contiene se rompe repentinamente. Cuando está asociado al fenómeno de bola de fuego, el alcance de la magnitud peligrosa de naturaleza térmica (radiación); de ahí que la planificación de emergencias sólo se realice teniendo en cuenta los daños de este último fenómeno.

c. Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo químico

Un escape de un producto tóxico o inflamable en forma gaseosa, o bien en forma líquida en condiciones de ser vaporizada, produce una nube de gas. Esta nube, según sea la velocidad de salida del producto, se comporta como:

- **Un chorro gaseoso** (turbulent free jet): en este caso, la dispersión del producto depende de la velocidad y de la presión de salida. Cuando el gas o vapor está suficientemente diluido y su velocidad es menor que la velocidad del viento, se dispersará a corta distancia en función de las condiciones meteorológicas;
- **La dispersión atmosférica:** la nube, en función de las condiciones meteorológicas, se extiende y se desplaza mientras se va diluyendo. Las áreas de terreno que quedan bajo el efecto de esta nube sufrirán las consecuencias del producto contaminante.

Según la evolución del fenómeno en el tiempo, las emisiones pueden clasificarse en: instantáneas (soplo), continuas (emisiones prolongadas en el tiempo) y en régimen transitorio (emisión limitadas en el tiempo y a menudo de caudal variable).

Según la densidad del producto, la dispersión puede ser neutra o gaussiana (gases vapores con densidad similar a la del aire), o de gases pesados (productos más densos que el aire, de manera que la gravedad ejerce una influencia significativa en la evolución de la nube).



1.1.6 PÉRDIDAS DE LOS ACCIDENTES ¹

Los accidentes mayores producen daños que al ser valorados se convierten en pérdidas económicas que ponen en peligro la subsistencia de la compañía. Dichas pérdidas se pueden clasificar en pérdidas directas y pérdidas indirectas.

Las pérdidas directas son las siguientes:

- Pérdidas sufridas por las personas (cuidados e indemnizaciones)
- Pérdidas por tiempos perdidos.
- Pérdidas de capital (destrucción de instalaciones o equipos, etc.)
- Daños a bienes ajenos (indemnización, reparaciones de emergencia, etc.)
- Daños al medio natural (establecimiento de medidas anticontaminantes, eliminación de productos contaminados, etc.)
- Costos de la intervención (consumo de agentes de extinción, etc.)

Las pérdidas indirectas son las siguientes:

- De impacto inmediato
 - ▢ Pérdidas de producción (paro de producción)
 - ▢ Pérdidas de beneficio por compra a precio de mercado de productos de entrega comprometida
 - ▢ Desmotivación y falta de eficacia en el trabajo
 - ▢ Eliminación de desechos o reprocesado en el trabajo
 - ▢ Conflictos sociales de duración y amplitud variable
 - ▢ Restauración del medio natural
- De impacto a largo plazo
 - ▢ Pérdidas de mercado
 - ▢ Condenas judiciales que, además de su costo, pueden tener consecuencias graves para las personas inculpadas y condenadas a prisión
 - ▢ Efecto negativo en la opinión pública
 - ▢ Repercusiones negativas generales para la industria (modificación y revisión de reglamentos)
 - ▢ Indemnizaciones diversas
 - ▢ Aumentos de primas de seguros



1.2 RIESGO

1.2.1 DEFINICIÓN ^{13c}

En el apartado anterior se estableció que los accidentes siguen una secuencia lógica a través de varios factores, que culminan en el daño. Entre estos factores se encuentran las llamadas causas inmediatas o síntomas del accidente, también conocidos como peligros. El peligro se puede definir como una característica física o química que tiene el potencial de causar daños. La característica física se refiere a condiciones o acciones inseguras y la característica química se refiere a la naturaleza de las sustancias.

Al hablar de riesgo debemos hacerlo siempre en término de probabilidad de que un peligro se materialice en el evento no deseado (accidente). La probabilidad abarca desde la certeza (el accidente ocurrirá con toda seguridad) hasta la imposibilidad (es imposible que el accidente ocurra) pasando todos los grados intermedios.

La OIT (OIT, 1991-3) señala que:

Riesgo es: “el grado de probabilidad de que se produzca un acontecimiento no deseado con consecuencias determinadas, dentro de cierto periodo o circunstancias especificadas. Puede ser expresado tanto como una frecuencia (el numero de hechos específicos en la unidad de tiempo), como una probabilidad (la posibilidad de que un hecho específico suceda a un hecho precedente), de acuerdo con las circunstancias”.

De la definición de la OIT se puede obtener el valor del riesgo mediante el uso de una ecuación matemática que se expresa de la manera siguiente:.

$$\text{Riesgo} = \text{Frecuencia (evento / tiempo)} \times \text{magnitud (consecuencia / evento)}$$

Para el uso de ésta ecuación se hacen algunas suposiciones, como son:

- La probabilidad de morir en un accidente esta uniformemente distribuida en la población
- La participación es involuntaria
- El sexo y edad no son factores
- Toda la población tienen la misma exposición al peligro



- Día de la semana, localidad, etc. no son factores.

A pesar de que la determinación de los parámetros (frecuencia y magnitud de las consecuencias) no es nada fácil, se cuenta con metodologías que permiten tener valores razonablemente precisos.

1.2.2 CLASIFICACIÓN ³³

Existen diversas formas de clasificar los riesgos, como por ejemplo la clasificación de la OPS (Organización Panamericana de la Salud), en lo referente a la salud ocupacional en petroleras, señala que existen cuatro clases de riesgos, que son:

- **Clase I (sin consecuencias):** Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo no daña al personal.
- **Clase II (marginal):** Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo que puede degradar el funcionamiento del sistema o dañar el equipo, pero que se puede arreglar por el personal o sistema de control sin que se presenten daños serios al personal.
- **Clase III (crítico):** Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo causaran daños de consideración al equipo y personal o que resulten en un riesgo que requiere de acción correctiva inmediata para la sobrevivencia del personal y del sistema.
- **Clase IV (catastrófico):** Condiciones en las que el error humano, diseño deficiente o inadecuado, o falla del equipo pueden degradar severamente el funcionamiento del sistema y causa pérdida subsecuente del sistema o causa la muerte o daños serios o irreversibles al personal.

La clasificación de los riesgos también puede ser definida por cada empresa en función de sus posibilidades financieras absolutas y verdaderas.



1.2.3 CRITERIOS Y PARÁMETROS ^{2,3,13c}

Para determinar el nivel de riesgo que genera una instalación industrial, así como determinar si éste se ha reducido a niveles aceptables se ha hecho necesario desarrollar criterios y parámetros como los que a continuación se describen.

En muchos países se ha adoptado la idea de establecer la identificación y definición de las instalaciones riesgosas mediante el uso de un listado de sustancias peligrosas, indicando el tipo de sustancias y las cantidades máximas tolerables (cantidad de reporte), constituyéndose así, en el factor de mayor importancia.

Para dar inicio a la clasificación de las sustancias a partir de las características físicas y químicas, en tóxicas, inflamables y explosivas es necesario establecer algunos parámetros para identificarlas como los que se muestran en la tabla 1.2.1

Para determinar la cantidad de reporte se consideró una distancia de 100 m, en la cual se tiene que:

- Las sustancias tóxicas alcanzan valores de concentración iguales al IDLH
- Las sustancias inflamables producen niveles de radiación térmica iguales a 5 KW/m²
- Las sustancias explosivas presentan ondas de sobrepresión de 0.5 psi

La cantidad de las sustancias consideradas como tóxicas, inflamables o explosivas que igualen estos valores umbrales, serán enlistadas como sustancias peligrosas. Así, en México se establecieron los listados de sustancias peligrosas publicándose en el Diario Oficial de la Federación, el 28/marzo/1990, para sustancias tóxicas y el 4/ mayo/1992, para inflamables y explosivas. *Ver apéndice A*

Por lo tanto, toda sustancia peligrosa en una fuente fija es riesgosa cuando la cantidad total de la sustancia contenida en un proceso es superior a la cantidad de reporte.

Se debe de entender por proceso: *cualquier actividad que involucra a la sustancia regulada y que incluye cualquier uso, almacenamiento, manufactura, manejo o movilización de la misma o combinada de estas actividades. También se considera como un proceso unitario a varios recipientes físicamente interconectados o a varios recipientes cercanos conteniendo la sustancia peligrosa, que en el caso de accidente pueden verse involucradas en la liberación del mismo.*

**TABLA 1.2.1 PARÁMETROS DE SUSTANCIAS TÓXICAS, INFLAMABLES Y EXPLOSIVAS**

1. **Sustancias de toxicidad aguda:** Una sustancia es considerada como un tóxico agudo de acuerdo a que: su concentración capaz de producir la muerte de la mitad o el 50 por ciento (CL50) de los animales expuestos vía inhalación durante ocho horas sea de 0.5 mg/l de aire; o bien que su dosis dérmica que provoca la muerte del 50 por ciento (DL50) de los animales expuestos sea de 50 mg/kg de peso corporal; o que su dosis oral (DL50) sea equivalente a 25 mg/kg de peso corporal. En ausencia de estos valores, se utilizan las concentraciones o dosis más bajas que son letales para cualquier animal de prueba.
2. **Sustancias inflamables:** Son aquellas capaces de formar una mezcla, con el aire, en concentraciones tales que las haga formar una flama espontáneamente o por la acción de una chispa. La concentración de dicha mezcla se considera equivalente al límite inferior de inflamabilidad. Dichas sustancias son consideradas como inflamables si poseen un punto de inflamación menor a 60 °C, una presión de vapor absoluta que no exceda de 2.81 Kg/cm² y temperatura de ebullición de 37.8 °C. Un líquido inflamable es definido por la Asociación Nacional de Protección contra el Fuego (NFPA) como aquel líquido con un punto de flasheo por debajo de los 37.8 °C. La misma NFPA establece las siguientes subclasificaciones para estos líquidos:
 - Clase 1A: son aquellos que tienen puntos de flasheo por debajo de los 22.8°C y que tienen un punto de ebullición por debajo de 37.8 °C.
 - Clase 1B: son aquellos que tienen puntos de flasheo por debajo de los 22.8°C y cuyo punto de ebullición es o se encuentra por arriba de 37.8 °C.
 - Clase II: son aquellos que tienen puntos de flasheo de 0 por arriba de los 37.8°C y debajo de los 60°C.
 - Clase IIIA: todos aquellos que tienen puntos de flasheo de 0 por arriba de 60 °C y por debajo de 93.3 °C.
 - Clase IIIB: todos aquellos que tienen puntos de flasheo de 0 por arriba de 93.3 °C.
 -
3. **Sustancias explosivas:** Son aquellas que producen una expansión repentina, por turbulencia, originada por la ignición de cierto volumen de vapor inflamable, acompañada por ruido, junto con fuerzas físicas violentas capaces de dañar seriamente las estructuras por la expansión rápida de los gases.

Cortinas de Nava, Promoción de la Prevención de Accidentes Químicos, México 1990

Otro criterio que hay que tomar en cuenta es la ubicación de la instalación, ya que es necesario considerar como factores la zona colindante y el desarrollo de las actividades. El primer factor considera la vulnerabilidad de la zona, ya sea esta de uso industrial, comercial, de recreación, habitacional, etc. El segundo factor establece que no es lo mismo que las actividades se lleven a cabo en el interior que en el exterior.

A continuación, en la tabla 1.2.2, se señalan los criterios de clasificación de las instalaciones industriales en niveles de riesgo en función del tipo de proceso y ubicación.



TABLA 1.2.2 NIVEL DE RIESGO

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE RIESGO
I	<ul style="list-style-type: none"> • Se realizan operaciones de mezclado, filtración o almacenamiento, o la combinación de ellas. • El almacenamiento ocurre a condiciones atmosféricas. • No se realizan reacciones químicas en las áreas de producción, intercambio de calor, manejo de presiones diferentes a la atmosférica y temperaturas mayores a la del ambiente. • El uso de suelo es industrial, rural o agrícola
II	<ul style="list-style-type: none"> • Se trata de complejos químicos o petroquímicos con 2 o más plantas. • Se produce uno de los siguientes materiales: ácido fluorhídrico, ácido clorhídrico, óxido de etileno, butadieno, cloruro de vinilo o propileno. • El establecimiento ha sufrido accidentes mayores (que han trascendido a la opinión pública). • Cuando se trate de una actividad que está interconectada con otra actividad altamente riesgosa ubicada en predio colindante, a través de tuberías en las que se maneje alguno de los materiales reportados en los Listados de Actividades Altamente Riesgosas.
III	<ul style="list-style-type: none"> • El tipo de operación que se realiza es destilación o refrigeración o extracción con solventes o absorción. • El almacenamiento es en tanques presurizados. • Existe reacción química, intercambio de calor y/o energía, presiones mayores o menores a la atmosférica o temperaturas mayores a la del ambiente. • El uso de suelo es habitacional, mixto o es zona de reserva ecológica. • La zona es susceptible a sismos, hundimientos o fenómenos hidrológicos y meteorológicos.

Cortinas de Nava, Promoción de la Prevención de Accidentes Químicos, México 1990

Adicionalmente, cuando se encuentra que una instalación es riesgosa, se hace necesario establecer los límites que permitan realizar un balance entre los riesgos y los beneficios de una actividad. El límite superior, que constituye el nivel máximo aceptable de riesgo, el cual no debe ser excedido sin importar que tan grandes sean los beneficios económicos o sociales de dicha actividad. El límite inferior, que indica el nivel bajo del riesgo el cual no es sensato tratar de reducir más en virtud de que hay otros riesgos más importantes que deben ser combatidos.

El decidir sobre el nivel del riesgo aceptable es un proceso complejo, ya que dicha decisión depende de múltiples factores entre los cuales se encuentran: humanos, económicos, de responsabilidad legal y de imagen pública.

Uno de los criterios que se siguen para la estimación de lo que se considera como riesgo socialmente aceptable parte de la base de que en una determinada actividad peligrosa para un miembro de la comunidad no debe ser significativo en comparación con otros que enfrenta en su vida cotidiana. El riesgo que corre un individuo en su vida diaria no debe ser excedido en un 1 %



A pesar de que hay actividades tan peligrosas como la industria química, la sociedad en general acepta menos una catástrofe en esta actividad que un conjunto de riesgos de pequeña magnitud. Por lo cual, en este sentido, la aceptabilidad del riesgo es una función de la imagen que la Industria Química ha adquirido a los ojos de la sociedad, porque es ella la que evalúa los riesgos y si considera que la cuota de riesgo que se corre es demasiado alta, no lo aceptará.

Es evidente aquí, que el control de riesgos y el mantener a estos en niveles aceptables debe ser esfuerzo tanto del Estado como de la Industria Química.

En décadas pasadas, se han realizado intentos para establecer valores de riesgos aceptables, pero por desgracia todavía ningún Estado ha fijado oficialmente algún valor. Existen sin embargo, diversos criterios propuestos por diferentes autores, los cuales siguen la tendencia de establecer el máximo riesgo de muerte a que puede ser expuesto un individuo. El riesgo originado por la presencia de una instalación debe ser lo suficientemente bajo como para no incrementar significativamente el riesgo preexistente.

El Instituto Nacional de Ecología (INE) utiliza un enfoque propuesto en Canadá en lo referente al uso del suelo alrededor de la Industria de alto riesgo, y con lo cual guían la toma de decisiones respecto a éste. Ver tabla 1.2.3

TABLA 1.2.3 NIVELES DE ACEPTABILIDAD DEL RIESGO (INE)		
NIVEL	RIESGO DE MUERTE ANUAL	ACEPTACIÓN
Zona de riesgo.	1/10,000 (10^{-4})	Inaceptable
Zona de amortiguamiento	1/100,000 (10^{-5})	Aceptable para actividades que no impliquen la presencia de un número importante de personas.
Zona de seguridad	1/1,000,000 (10^{-6})	Despreciable ninguna restricción.

Cortinas de Nava, Promoción de la Prevención de Accidentes Químicos, México 1990

Una vez determinado el riesgo y el nivel al cual pertenece una instalación dada, es necesario tener un parámetro que indique la magnitud del mismo con el fin de dar un apoyo en la toma de decisiones de la administración del riesgo. Existen una gran variedad de parámetros que permiten cuantificar el valor de esta magnitud. Uno de estos parámetros es la Tasa de Accidentes Mortales (Fatal Accident Rate/ FAR), que se define como el número de accidentes mortales después de 10^8 (horas-hombre) de una determinada actividad. Esta cantidad equivale aproximadamente al número de horas-trabajador por un grupo de 1000 personas, después de una vida laboral e incluye sólo los accidentes con consecuencias inmediatas y no los muertos por enfermedad. A continuación se muestran en la tabla 1.2.4 los valores de la FAR en la Industria Química de varios países.



PAIS	FAR
Gran Bretaña	4.0
USA	5.0
Alemania	5.0
Francia	8.5

Casal, Joaquín, Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales, España, 2001

Otros métodos pueden ser definidos por la empresa en función de los recursos disponibles para la reducción o eliminación del riesgo, como por ejemplo, el calcular el riesgo en función de las pérdidas económicas permite reconocer la magnitud de los beneficios que se obtendrán en cada alternativa sugerida.

1.2.4 MÉTODOS PARA ADMINISTRAR LOS RIESGOS ^{6.13c.19}

Una vez definidos los riesgos se está en condiciones de tomar decisiones, ya que al llegar a esta etapa se tiene la información mínima necesaria requerida para señalar cual, entre todas las alternativas, es la mejor solución que se pueda adoptar para evitar las pérdidas que pueden presentarse con los diferentes riesgos ya encontrados y evaluados.

Existen cuatro alternativas en la administración del riesgo (*Mieres, 1990-139*), que son:

- I. Eliminación del riesgo
- II. Reducción del riesgo
- III. Retención del riesgo
- IV. Transferencia del riesgo.

Explicando en que consiste cada alternativa, tenemos.

I. ELIMINACIÓN DEL RIESGO

Esta alternativa se lleva a cabo por lo general en la fase de diseño de la instalación, ya que es en esta parte donde los costos se vuelven nulos y se obtiene una reducción drástica del riesgo. Pero, en el caso de instalaciones en funcionamiento, es necesario realizar un estudio a detalle que justifique su



uso, Hay que recordar que la alternativa es sólo valida cuando la fabricación del producto proporciona unas pérdidas de tal naturaleza que compromete todas las posibles ganancias por las que fue concebido.

En esta alternativa se debe de distinguir entre la eliminación de accidentes y la eliminación de riesgos. En la primera lo que se busca es hacer más segura la planta, mientras que en el segundo es acabar con la empresa.

II. REDUCCIÓN DEL RIESGO

La prevención de riesgos y su consiguiente reducción de pérdidas es la alternativa más eficaz de administrar los riesgos. Esta alternativa consiste en adoptar los medios y los sistemas para tener un adecuado control de riesgos.

Para lleva a cabo esta alternativa es preciso realizar la evaluación de los riesgos existentes y haber establecido parámetros de aceptación. Así las modificaciones que reduzcan el riesgo pueden ser clasificadas según el fallo o deficiencia encontrada.

- Modificación del sistema de control o alarmas que mejoren la detección y/o bloqueo del riesgo previsto.
- Modificación de las condiciones de operación, ajustando o modificando el rango de la variable del proceso.
- En algunos casos puede ser necesario instalar sistemas auxiliares para reducir el riesgo de contaminación.

Una vez que se ha planteado la reforma de la unidad o zona, cuya situación de riesgo se requiere minimizar, es conveniente someter la instalación reformada a un nuevo análisis de riesgos, con objeto de comprobar la eficacia de dichas mejoras en cuanto a conocer si se ha reducido la situación de riesgo detectada anteriormente. Esta minimización incidirá en los beneficios, imagen de la compañía y calidad del ambiente en el trabajo.

III. RETENCIÓN DEL RIESGO

La alternativa de retener el riesgo, implica tener la posibilidad de incurrir en actos o situaciones inseguras que pueden generar un accidente, aunque es de una manera consciente. Esto se logra tras



un buen trabajo de análisis de decisiones por parte de la gerencia, ya que implica retener fondos en reserva para autoseguro que podrían dificultar las operaciones financieras de la empresa.

Normalmente las decisiones de retener recaen en riesgos con valores muy pequeños de gravedad, lo que equivale a decir que las pérdidas potenciales pueden causar pocos problemas, y que el grado de corrección necesario daría lugar a unos costos desproporcionados en relación a aquellas consecuencias.

Al utilizar esta alternativa se hace necesario llevar a cabo una permanente y total atención a los parámetros de probabilidad de que existen pérdidas, porque si se presenta alguna variación sustancial en estos parámetros se puede aconsejar una decisión diferente a la de retener el riesgo.

IV. TRANSFERENCIA DEL RIESGO

Esta alternativa tiene dos opciones: transferir a una aseguradora o transferencia a otros.

La primera opción es la forma más común de transferencia de riesgos, siendo así, la alternativa más cara para administrar un riesgo. El seguro no evita la consecuencia, pero puede mitigar en muchos casos la gravedad de los mismos. Esta afirmación es válida cuando consideramos el seguro con una finalidad o prestación estrictamente económica.

La segunda opción se refiere principalmente a las relaciones contractuales con proveedores durante la puesta en marcha del equipo. Hay elementos que por su riesgo en el transporte, puesta en marcha, etc., hacen aconsejable que el riesgo permanezca del lado del proveedor hasta la recepción del equipo.



1.3 ANÁLISIS DE RIESGOS

1.3.1 DEFINICIÓN ^{13c,18}

En décadas pasadas el mantener segura una instalación industrial era función de las denominadas "reglas del buen hacer técnico". Esta práctica permitía el uso de herramientas eficientes para el control de los riesgos, tales como: mantenimiento preventivo, procedimientos de operación, auditorías de seguridad, revisiones periódicas, entre otras. Pero, al incrementarse el potencial de accidentes mayores debido al descubrimiento de nuevas sustancias y la generación de nuevos procesos, se puso de manifiesto la necesidad de contar con un enfoque sistemático y claramente definido que permita descubrir a priori los riesgos inmersos en las nuevas instalaciones, con el fin de proteger al personal, las instalaciones y el medio ambiente.

El nuevo enfoque que surge con vista de mejorar la seguridad interna de la instalación y reducir las pérdidas (humanas y/o materiales) es conocido como *Análisis de Riesgos*. La palabra *análisis* se refiere a dividir el todo en sus partes para un mejor entendimiento y comprensión del objeto estudiado, esto permite entender el por qué de la necesidad de conocer los tipos de accidentes potenciales, sus síntomas, causas básicas y la probabilidad de ocurrencia, así como cuantificar los daños provocados por estos.

Para definir adecuadamente lo que es un análisis de riesgos la OIT (OIT, 1991-3), señala que:

Análisis de Riesgos: *"es la determinación de los acontecimientos no deseados que conducen a la materialización del riesgo; análisis de los mecanismos por los que estos acontecimientos no deseados podrían sobrevenir y generalmente, la estimación del alcance, magnitud y probabilidad relativa de cualquier efecto nocivo"*.

Así en referencia a esta definición se puede señalar que los objetivos últimos del análisis de riesgo son la prevención de la ocurrencia y mitigación de los efectos de accidentes en instalaciones industriales potencialmente peligrosas a través de un estudio sistemático de las mismas y que básicamente consiste en:

- Identificar los riesgos que puede presentar una instalación industrial para las personas, los bienes y el medio ambiente.
- Tipificarlos en una serie de accidentes mayores cuya ocurrencia es factible.
- Detener los alcances que pueden tener dichos accidentes.



- Definir zonas inseguras.
- Calcular los daños que pueden provocar.
- Analizar las causas de los accidentes, eventualmente cuantificando sus frecuencias y/o probabilidades.
- Determinar las medidas de prevención y protección, incluyendo las de carácter organizativo para evitar su ocurrencia o mitigar las consecuencias.
- Determinar el nivel de riesgo asociado a las instalaciones.

En si mismo, el análisis de riesgos, tiene la función de proporcionar información a los altos dirigentes sobre los riesgos existentes en sus instalaciones y las posibles alternativas para la eliminación o reducción de estos. Como es lógico, cada una de las alternativas implica un costo económico diferente, el cual será tomado en cuenta en la selección final de la alternativa.

1.3.2 DELIMITACIONES

El delimitar el análisis de riesgos que se va a realizar a ciertas instalaciones permite una mejor administración de los recursos, lo cual permite una mejor identificación y evaluación de los riesgos existentes.

Entre los límites que se tienen que establecer se encuentran los siguientes:

- Las razones por las cuales se procede al análisis.
- Las áreas objeto de estudio.
- Las fases operativas que se consideraran.
- La exhaustividad requerida.
- Establecer el tiempo requerido y el orden cronológico del análisis.
- Establecer la información mínima necesaria para llevar a cabo el análisis
- Especificación del personal de la empresa que va a participar en el análisis (ingenieros de proceso, mecánicos, electricistas, instrumentista, etc.).

1.3.3 PROCEDIMIENTO GENERAL 2,12,13c,18,20,25

La metodología del *Análisis de Riesgos* puede variar ligeramente de un autor a otro, pero básicamente consta de cuatro etapas que son:



- I. Identificación de peligros
- II. Análisis de causas
- III. Análisis de consecuencias
- IV. Estimación del riesgo

I. IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

Esta etapa es de carácter enteramente cualitativo, porque tiene la finalidad de obtener un listado de todas las desviaciones que: 1) pueden producir un efecto adverso significativo y 2) tengan la capacidad de materializarse. Estos puntos descansan en el sentido común ingenieril, en la experiencia acumulada sobre el proceso en estudio y otros similares, lo que permitirá descartar las desviaciones improbables.

Esta etapa es la más decisiva de todo el análisis, debido a que: *cualquier riesgo que no haya sido identificado como tal, difícilmente podrá ser prevenido e incluso combatido, pero también no conviene olvidar que un riesgo extravalorado inadecuadamente puede consumir recursos innecesarios y, lo que es peor, distraerlos de su aplicación a otro que pudiera requerirlos con mayor justicia.* (Román, 1990-122)

Por lo tanto, es necesario utilizar técnicas de profundización progresiva, para establecer una valoración comparativa de riesgos y decidir, cual de ellos merece ser analizado con mayor detalle.

II. ANÁLISIS DE CAUSAS

En esta etapa se determinan las causas y las secuencias que rigen al accidente, es decir, establecer cual son los eventos iniciadores y como interactúan entre si. La determinación debe ser lo más completa que se pueda, para tener una mejor idea sobre que factores se puede actuar y poder calcular los costos que esto implicaría.

Se recomienda en este sentido, y al margen de las técnicas específicas que se apliquen, revisar una lista de *iniciadores potenciales* en la instalación. Como consecuencia de este repaso preliminar se pueden descartar iniciadores a la vista de la levedad de sus consecuencias.

Finalmente, una vez descubiertos los sucesos iniciadores que dan origen al accidente, es necesario mediante el uso de tablas de frecuencias de fallos de equipos, de instrumentos y de error



humano, calcular su frecuencia y finalmente su probabilidad. Esto nos permitirá establecer en la última etapa la estimación de los riesgos.

III. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

En esta etapa lo que se busca es cuantificar el potencial de los daños a las personas, las instalaciones y al medio ambiente, que se obtendrían por la materialización del riesgo.

Esta etapa tiene como objetivos principales la determinación de:

- Los límites de las áreas en torno al origen de cada accidente en las cuales se produce un determinado nivel de daño a las personas y las instalaciones.
- La evaluación del número de víctimas generadas en estas áreas para cada uno de los accidentes estudiados.

En el primer caso se determinan las zonas de riesgo, amortiguamiento y seguridad, mediante el uso de un software comercial, que determina los efectos (radiación térmica, concentración y sobrepresión) con probabilidades de daño. En el segundo caso se determina la vulnerabilidad de las personas situadas en la zona de riesgo.

Al realizar el cálculo de las consecuencias, es necesario cumplir con las siguientes especificaciones:

- Deberán contabilizarse todos los efectos posibles del accidente con especial incidencia sobre los más graves.
- El cálculo de víctimas deberá integrar ponderando con sus respectivas probabilidades, las distintas condiciones meteorológicas de la zona.
- Deberá dejarse clara constancia de las condiciones de cálculo consideradas (caudales de fuga, variables meteorológicas, valores umbrales adoptados...); de los modelos matemáticos aplicados (referencias concretas, listados de ordenador obtenidos si existen, justificación de la adecuación del modelo al caso de aplicación...).

IV. ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Una vez que se dispone de la información que da el análisis de riesgos, sobre la estimación de las consecuencias y la probabilidad de ocurrencia del riesgo, se está en condiciones de establecer la estimación del riesgo. Esto se hace con la finalidad de comparar el valor de riesgo obtenido con valores



previamente establecidos por la empresa, con lo que se espera tener una mejor evaluación de las alternativas de solución que se tienen para administrar el riesgo. Estas alternativas son evaluadas nuevamente con el fin de justificarlas.

1.3.4 INFORMACIÓN REQUERIDA ³

Las empresas que en su actividad involucran el manejo de sustancias peligrosas en cantidades y condiciones que conllevan el riesgo de accidente, se clasifican en tres niveles de riesgo de acuerdo con su complejidad, y con base en ello, se establece el tipo de estudios de riesgo que requiere. A continuación se resume la información requerida en los distintos tipos de análisis de riesgo (tabla 1.3.1).

1.3.5 HERRAMIENTAS

1.3.5.1 TÉCNICAS

1.3.5.1.1 CARACTERÍSTICAS BÁSICAS ^{2,10}

En la Industria Química, los accidentes suelen ser el resultado de unas condiciones de proceso inadecuadas tanto para los materiales como para las sustancias peligrosas. Estas condiciones, excepto en el caso de fallos de diseño, suelen ser desviaciones de las condiciones normales de funcionamiento y se presentan como problemas no siempre evidentes desde la experiencia operativa.

Las técnicas de análisis de riesgos son utilizadas para identificar las condiciones de proceso inadecuadas y son aplicables a distintas etapas de la vida de los procesos industriales: diseño, construcción, puesta en marcha y funcionamiento de una operación normal, modificación del proceso y desmantelamiento o abandono de las instalaciones.

La selección de una u otra técnica se debe efectuar a partir del conocimiento de las ventajas y desventajas de cada una, y de una correcta estimación de la duración del estudio (concepto ligado siempre a aspectos económicos). También su selección puede basarse en el tipo de análisis a realizar, ya sea cualitativo o cuantitativo. El análisis cualitativo sirve para identificar los peligros potenciales y sus causas, en donde los riesgos pueden ser fácilmente evaluados y los sistemas de seguridad son inadecuados, dando así, acciones correctoras inmediatas. El análisis cuantitativo se aplica para evaluar riesgos potenciales en donde el análisis anterior ha fallado y en donde se requiere mayor cantidad de información para tomar una mejor decisión sobre la reducción del riesgo.



TABLA 1.3.1 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA CADA UNO DE LOS TIPOS DE ESTUDIO DE RIESGO

NIVEL I: ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGO	
Información específica	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción de las actividades que se desarrollan durante la etapa de construcción (en caso de un nuevo proyecto). • Descripción del proceso, características de las instalaciones (tanques, equipos, sistemas y dispositivos de seguridad, entre otras), • Las propiedades físicas y químicas de las sustancias involucradas, incluyendo los riesgos inherentes a su naturaleza. • Los residuos generados como resultado de la actividad.
Metodología Recomendable	Lista de verificación (Check List); ¿Que pasa si ?; Índice Dow ; Índice Mond; Análisis de Modo Falla y Efecto (FMEA); o alguna otra con características similares a las anteriores y/o la combinación de éstas. También se definen las áreas potenciales de afectación en caso de accidente por fuga, incendio y/o explosión.
NIVEL II: ANÁLISIS DE RIESGO	
Información específica	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción más detallada del proceso, así como las características de los equipos e instalaciones que lo conforman, como es el caso de las bases de diseño, factores de seguridad y pruebas de operabilidad, entre otras, diagramas de tuberías e instrumentación • Datos referentes a la cinética química de las reacciones que intervienen. • Balance de materia y energía de todas las secciones que integran el proceso. • Medidas y procedimientos de seguridad para caso de emergencia. • Auditorías de seguridad a que será sujeta la actividad.
Metodología Recomendable	Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP); Análisis de Modo Falla y Efecto (FMEA) con Árbol de Eventos; Árbol de Fallas, o alguna otra con características similares a las anteriores y/o la combinación de éstas.
NIVEL III: ANÁLISIS DETALLADO DE RIESGO	
Información específica	<ul style="list-style-type: none"> • Descripción más detallada del proceso, así como las características de los equipos de proceso y auxiliares de las instalaciones que lo conforman, como es el caso de las bases de diseño, factores de seguridad y pruebas de operabilidad, entre otras. • Datos referentes a la cinética química de las reacciones y los mecanismos que intervienen. • Balance de materia y energía de todas las secciones que integran el proceso. • Sistemas de desfogue. • Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's), descripción y justificación de los sistemas redundantes de servicios, especificar en forma detallada las bases de diseño para el cuarto de control. • Resumen Ejecutivo de las bases y criterios empleados para el diseño civil y estructural de las principales áreas de la instalación, así como de los equipos donde se manejan materiales considerados de alto riesgo. • Medidas y procedimientos de seguridad para caso de emergencia. • Auditorías de seguridad a que será sujeta la actividad.
Metodología Recomendable	Análisis de Riesgo y Operabilidad (HAZOP) y Árbol de Fallas, Análisis de Modo Falla y Efecto (FMEA) y Árbol de Fallas; o la combinación de dos metodologías con características similares a las anteriores, debiendo aplicar las metodologías de acuerdo a las especificaciones propias de la misma.



Todas estas técnicas se desarrollan en general en tres etapas, que son:

1) PREPARACIÓN

Esta etapa es muy similar para todas las técnicas y consta de actividades tan diversas como recolección de la información necesaria (sustancias que se manejan, filosofía de diseño, diseño operacional, capacitación del personal, etc.), definición de objetivos y su alcance, selección del personal involucrado, programación, etc.

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Esta etapa varía para cada técnica y responde al seguimiento de su propio protocolo.

3) RESULTADOS

Los resultados que estas técnicas pueden proporcionar son de tres tipos: un listado de situaciones peligrosas, valoración de estas situaciones y una serie de medidas dirigidas a reducir el riesgo asociado.

LIMITACIONES GENERALES

Las técnicas de análisis a pesar de tener un uso tan importante no son perfectas, por lo cual, es necesario tener en cuenta, cinco limitaciones inherentes a todas ellas (CCPS, 1995). Estas cinco limitaciones son las siguientes:

- I. La exhaustividad del estudio: no hay posibilidad de verificar que todas las posibles desviaciones y fallos del sistema hayan sido identificados. Tampoco puede verificarse que todas las causas y efectos de los accidentes potenciales hayan sido considerados. Y, finalmente, tampoco puede asegurarse que la valoración de los accidentes y sucesos identificados sea la más conveniente.
- II. La responsabilidad de los resultados: el mismo estudio llevado a cabo en idénticas condiciones por diferentes especialistas da resultados distintos. La carga subjetiva de los estudio hace que éstos sean difícilmente reproducibles.



- III. Lo confuso de las conclusiones: la cantidad de documentación generada por el estudio y la falta de detalles importantes que sólo se materializan en la comunicación verbal de las sensaciones de trabajo hacen los análisis relativamente difíciles de interpretar.
- IV. La importancia de la experiencia: todas las técnicas que se utilizan, están basadas en mayor o menos grado en la experiencia adquirida y en la creatividad del analista.
- V. El nivel de confianza generado por el estudio: la subjetividad introducida en la valoración de los sucesos identificados puede generar cierto escepticismo respecto a los resultados del estudio.

1.3.5.1.2 TÉCNICAS CUALITATIVAS ^{2,10}

1.3.5.1.2.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES

El análisis histórico de accidentes es una técnica que permite identificar los riesgos existentes en una planta, mediante la comparación de las instalaciones (ya sea en determinadas situaciones, equipos u operaciones), con otras, en donde hayan ocurrido accidentes. La comparación de las instalaciones permite obtener una idea inicial de donde se localiza la posibilidad de sufrir algún accidente.

Los accidentes ocurridos en el pasado constituyen un conjunto de *datos experimentales*, obtenidos a menudo a un precio muy elevado, en un campo en donde la experimentación a escala real resulta casi imposible. Toda esta información que se ha ido acumulando en bases de datos por todo el mundo, permite además la construcción de modelos de accidentes, como son: modelos que cuantifican las concentraciones, radiaciones y sobrepresiones de sustancias, la vulnerabilidad de personas, equipos y estructuras.

1) PREPARACIÓN

La información que se requiere para llevar a cabo esta técnica, se puede obtener de los bancos de datos. Al usar éstos, debe de tenerse en cuenta que ésta puede ser fragmentaria e incompleta, por lo cual es necesario utilizarla con la debida precaución.

Las fuentes de información más usuales son:

- Información redactada por la misma industria
- Información pública.
- Sumarios judiciales



- Investigación de la administración
- Archivos de empresas aseguradoras

Algunas de las bases de datos más conocidas son: MARS, MHIDAS, EPA entre otras. De estas bases de datos, algunas son de uso libre, siendo Internet la vía más habitual para acceder a ellas.

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Esta técnica se desarrolla en tres etapas que son:

1. Elaborar un listado de equipos y sustancias que se utilizan en la operación común de la planta.
2. Indagar en bases de datos lo referente a:
 - a. Equipos de proceso y/u operaciones en los que se presentan con mayor frecuencia los accidentes.
 - b. Las sustancias involucradas en los accidentes.
 - c. La frecuencia de fallo de equipo mecánico, eléctrico e instrumentación.
3. Describir el o los accidentes de mayor relevancia en función de sus causas y sus consecuencias.

3) RESULTADOS

Los resultados que se obtienen en esta técnica es un primer indicio de donde empezar la aplicación de las técnicas subsiguientes.

LIMITACIONES

Las limitaciones que se tienen que tomar en cuenta para su aplicación son:

- La instalación objeto de estudio no es exactamente igual a las que ya han sufrido accidentes.
- El número de accidentes que han ocurrido en el pasado y de los cuales se tiene información es limitada, y estos accidentes no son representativos de todos los que pueden ocurrir.
- La información de los accidentes suele ser incompleta y, en muchas ocasiones inexacta o de uso restringido.
- No se da información sobre todos los accidentes posibles sino únicamente sobre los que han sucedido y se han documentado hasta la fecha.



- El acceso a los bancos de datos implica un cierto costo.
- Los datos almacenados son sobre accidentes ocurridos en tiempo y condiciones muy distintas de las actuales.

1.3.5.1.2.2 ANÁLISIS HAZOP

El Análisis de Peligros y Operabilidad (Hazard Operability Analysis, HazOp) es un método que la *Chemical Industry Association*, define como: *La aplicación de un examen crítico, formal y sistemático a un proceso o proyecto de ingeniería de una instalación, para evaluar el riesgo potencial de la operación o funcionamiento incorrecto de los componentes individuales de los equipos, y los consiguientes efectos sobre la instalación como conjunto (Casal, 1990-34).*

La técnica se fundamenta en el hecho de que las desviaciones en el funcionamiento de las condiciones normales de operación y diseño suelen conducir a un fallo del sistema. El fallo del sistema puede provocar desde una parada sin importancia del proceso hasta un accidente mayor de graves consecuencias.

1) PREPARACIÓN

Lo que el análisis HazOp requiere como mínimo para que este sea de calidad aceptable, es que la información disponible esté actualizada, es decir, el grado de detalle de la información disponible condiciona el grado de detalle del análisis. Ver tabla 1.3.1

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Después de que se ha obtenido la información mínima requerida y ha sido analizada, se han llevado a cabo inspecciones a las instalaciones y determinado las áreas de mayor peligro, ya se puede pasar a la realización de la técnica HazOp.

La aplicación de la técnica constara de las siguientes etapas:

- **Determinación de los nodos**

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



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

- **Establecimiento y práctica del protocolo de las secciones.**

La etapa de reuniones de análisis HazOp se refiere al proceso en el que el grupo multidisciplinario aplica un protocolo de análisis. En la aplicación del protocolo, cada miembro del equipo aporta su experiencia y conocimientos en beneficio del estudio.

La conformación del grupo requiere del nombramiento de un coordinador principal y de un secretario. El coordinador tiene la función de moderar las reuniones y el secretario se encarga de llenar los formatos que documentan el estudio, a medida que éste avanza.

El protocolo de análisis consiste en lo siguiente: para cada nodo se define su función y se selecciona una variable relevante del proceso (presión, temperatura, flujo, corriente, entre otras). A estas variables se les aplica una palabra guía (no, alto, bajo, inexistente) que, combinada con la variable seleccionada, genera una desviación (alta presión, bajo flujo, etcétera). Para cada desviación se hace una relación de las posibles causas que la pueden originar y sus posibles consecuencias. Adicionalmente, se identifican las protecciones con las que cuenta la instalación y se proponen recomendaciones para evitar las causas y disminuir las consecuencias. Esto se hace hasta agotar todas las palabras guía que se apliquen a la variable y para todas las variables que afecten a cada nodo. Finalmente, el proceso se continúa para todos los nodos de la instalación.

A continuación se presenta el software con el que cuenta la Facultad de Química de la UNAM para el análisis HazOp (figura 1.3.2). Éste software incluye la determinación cualitativa del riesgo a partir de la señalización de la frecuencia y gravedad, que son una función de las consecuencias. El grado de frecuencia y gravedad son seleccionados por el personal participante en el estudio.



FIGURA 1.3.2 PRESENTACIÓN DEL SOFTWARE UTILIZADO POR LA UNAM PARA EL ANÁLISIS HAZOP

El Estudio HAZOP

1. Notas 2. Descripciones 3. Análisis de escenarios

Modo: 1. De límite de batería al reactor DC-101

Descripción: 2. No fluye

LOT LOG LSI LSS

Análisis de escenarios

Item	Causa	Consecuencias	E	G	R	Presecciones	FP	GP	RP	Recomendaciones	Clase
1	Falla en las bombas CA-301A/B a) Falta posición de la descarga de la bomba (PSH31103A) b) Falta eléctrica (CF) alarmática	1. Incremento de temperatura en el reactor (DC-301) 2. Fugas por todos en el reactor (DC-301) 3. Fugas en el	1	2	3	1. Análisis de la posición (PAH/PAL31103) 2. Programa de mantenimiento eléctrico preventivo y predictivo	2	4	F	1. Continuar con el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo	D
2	Falla en cambio de la válvula de control PV-31101B a) daño en el posicionamiento eléctrico manual	1. Aumento de presión en la descarga de las bombas (CA-301A/B) 2. Desajuste de las bombas CA-301A/B	2	3	6	1. Prácticas de baja presión de área de instrumentos 2. Sistema local de área de instrumentos	2	4	F	1. Continuar con el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo	D
3			1	1	1		1	1			

Regreso: 11 | 1 a 12 de 2

3) RESULTADOS

En esta etapa los resultados que se obtienen son un listado de peligros, las causas que los provocan, las consecuencias que se podrían tener, así como un listado de las recomendaciones para evitar estos peligros.

Adicionalmente se pueden jerarquizar los peligros en riesgos mediante una matriz de frecuencia gravedad que se adiciona en el estudio. Ver apéndice B

LIMITACIONES

La técnica es muy recomendada para el análisis de plantas de proceso, aunque tiene algunas limitaciones, ya que supone que:

- Las instalación esta bien diseñada, en relación con la experiencia, el conocimiento de los procesos implicados y la aplicación de las normas y códigos pertinentes.



- Los materiales usados han sido los adecuados y la construcción y el ensamblaje se han hecho correctamente.
- Los análisis son *una fotografía instantánea* donde se mezclan sucesos de efecto inmediato con sucesos de elevada inercia temporal.

1.3.5.1.3 TÉCNICAS CUANTITATIVAS ^{2,9}

1.3.5.1.3.1 ÍNDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

El Índice DOW es una técnica cuantitativa que permite estimar el riesgo global asociado con una unidad de proceso, así como proporcionar un valor numérico que permite la identificación de áreas en las que el riesgo potencial alcanza un nivel determinado.

1) PREPARACIÓN

Lo que se requiere para utilizar esta técnica es la misma información que el Análisis HazOp por lo que su realización es un preludeo al uso de ésta técnica.

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El proceso se lleva a cabo en una serie de etapas, que son:

- **Selección de la unidad de proceso**

Par efectos de aplicación del índice, suele definirse una unidad de proceso como cualquier equipo primario, como puede ser, un compresor, un tanque de almacenamiento, un intercambiador de calor, etc. En otros casos se puede considerar como unidad de proceso las agrupaciones reducidas de elementos primarios, siempre que tengan una clara unidad funcional y estén ubicadas en espacio físico reducido (por ej. El circuito de regeneración de las secadoras). Las unidades de proceso pertinentes para la aplicación del método son aquellas que pueden tener un impacto relevante desde el punto de vista de la seguridad de la planta.

- **Determinación del factor material**

El factor material es un número, comprendido entre 1 y 40, que se asigna a la sustancia que se procesa en la unidad de acuerdo con el potencial intrínseco de ésta para liberar energía en un incendio



o en una explosión. Para calcularlo es necesario conocer la reactividad e inflamabilidad de la sustancia que se elija para calcularlo.

- **Determinación de los factores de riesgo concurrentes**

Estos factores pueden ser de dos tipos: riesgos generales, como la presencia de reacciones exotérmicas o la relación de operaciones de carga y descarga, y riesgos especiales de proceso, como la operación cerca del intervalo de inflamabilidad o a presiones distintas de la atmosférica. La contabilización de los factores de riesgo concurrentes en el proceso se realiza asignando una penalización en cada uno de los apartados. Este permite definir los factores de riesgos generales (F_1) y de riesgos especiales (F_2) del proceso como sigue:

$$F_1 = 1 + \Sigma (\text{penalizaciones por cada uno de los riesgos generales})$$

$$F_2 = 1 + \Sigma (\text{penalizaciones por cada uno de los riesgos especiales})$$

Para facilitar el cálculo de las penalizaciones se utiliza el formulario tipo para el cálculo del índice DOW. (Ver referencias 2 y 7)

- **Obtención del factor del riesgo de la unidad.**

Una vez calculado los factores F_1 y F_2 se esta en condiciones de obtener el factor de riesgo de la unidad (F_3), como el producto de las anteriores.

El factor de riesgo de la unidad, que normalmente esta comprendido entre 1 y 8, se utiliza para hallar el valor del índice de incendio y explosión (IIE), que se calcula como el producto del factor de riesgo de la unidad y el factor material ($F_3 * MF$). Por tanto procesos con penalizaciones equivalentes darán distintos valores de IIE si se aplica sobre sustancias con distintos valores del factor material.

El intervalo de variación del índice de incendio y explosión (IIE) se sitúa entre los casos extremos de 1 y 320. Se consideran riesgos graves a aquellos con un IIE de 150

- **Calculo del radio del alcance del accidente**

El área de exposición es un círculo ideal dentro del cual estarían comprendidos los equipos e instalaciones que pueden verse afectados por un incendio o por una explosión en la unidad de proceso que se evalúa.



El área se obtiene a partir del cálculo del radio del círculo, el cual se calcula de acuerdo con:

$$R (m) = 0.256 \cdot IIE$$

- Cálculo de daños probables a la propiedad

Estos se realizan mediante el valor del equipo contenido dentro del área de exposición y de la estimación de los días de parada para reparar o sustituir el equipo dañado.

3) RESULTADOS

Los resultados que se obtienen de la aplicación en esta técnica son: una estimación del valor del índice, del área que puede verse afectada por un accidente, el daño a la propiedad dentro de la misma y los días de operación perdidos por causa del accidente.

LIMITACIONES

- Estudia el fuego y las explosiones, pero no la toxicidad, corrosividad, etc.
- Exige personal preparado.

1.3.5.1.3.2 ÁRBOL DE FALLAS

El Árbol de Fallas es una representación lógica de las secuencias de acontecimientos que pueden llevar a un suceso elegido como *evento tope*. Para llegar a la cuantificación del evento tope se utiliza el análisis matemático de conjuntos mínimos, ya que permite identificar todas las combinaciones de eventos básicos que inciden sobre el evento tope. El análisis matemático se basa en las reglas algebraicas del álgebra Boleana. Ver el apéndice D

La técnica Árbol de Fallas facilita la determinación del riesgo propio de cada situación, cuando se conjuga una diversidad de fallas a estudiar. Además es una técnica de análisis tanto cualitativa como cuantitativa. Es cualitativa porque identifica las posibles combinaciones de eventos que conducen a la ocurrencia de un evento indeseado, denominado evento tope. Es cuantitativo porque predice que combinación de eventos son los más probables de dar el evento indeseado.



1) PREPARACIÓN

Para elaborar un Árbol de Fallas se requiere de la selección de un evento tope. Ejemplos de eventos tope pueden ser los siguientes: la reacción descontrolada en un reactor químico, la falla del tren del aterrizaje de un avión, la falla de la energía eléctrica en un hospital, etc. El evento tope surge de estudios previos, como son: el análisis histórico y el HazOp.

Adicionalmente se requieren tasas de fallas de equipos mecánicos y eléctricos. Esta información se puede tener de fuentes no oficiales, de la empresa misma o de la experiencia de los ingenieros de la planta.

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Evaluación cualitativa

La técnica se inicia con la selección de un suceso no deseado o evento que se pretende evitar, sea éste un accidente de gran magnitud (explosión, fuga, derrame, etc.) o sea un suceso de menor importancia (fallo de un sistema de cierre, etc.) para averiguar en ambos casos los orígenes de los mismos.

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

Los nudos de las diferentes puertas y los *sucesos básicos o no desarrollados* deben estar claramente identificados.

Una vez desarrollado el árbol de manera cualitativa, es necesario identificar los eventos y su combinación, que tiene la mayor probabilidad de originar el evento tope.

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



1. Identificación de todas las puertas lógicas y sucesos básicos.
2. Resolución de todas las puertas en sus sucesos básicos.
3. Eliminación de los sucesos repetidos en los conjuntos de fallo: aplicación de la propiedad idempotencia del álgebra de Boole.
4. Eliminación de los conjuntos de fallo que contengan a su vez conjuntos de fallo más pequeños, es decir, determinación de entre todas las combinaciones posibles, los conjuntos mínimos de fallo: aplicación de la ley de absorción del álgebra de Boole.

Evaluación cuantitativa

Una vez realizada la evaluación cualitativa, se puede pasar a la valoración de la probabilidad global de aparición del *suceso no deseado* se realizan los siguientes pasos:

1. Se asignan valores probabilísticos a los sucesos primarios.
2. Se determinan las combinaciones mínimas de sucesos primarios cuya ocurrencia simultánea garantiza la aparición del *suceso no deseado*: establecimiento de los *conjuntos mínimos de fallas*.
3. Se calcula la probabilidad de cada una de las vías de falla representada por los conjuntos mínimos de fallas, la cual es igual al producto (intersección lógica en álgebra de Boole) de las probabilidades de los sucesos primarios que la componen.
4. Se calcula la probabilidad de que se produzca el *acontecimiento final*, como la suma de las probabilidades (unión lógica de todos los N conjuntos mínimos de fallo en álgebra de Boole) de los conjuntos mínimos de fallo, como límite superior, ya que matemáticamente debería restarse la intersección de éstos.

3) RESULTADOS

Los resultados que da esta técnica son: los eventos básicos que tienen la mayor probabilidad de ocurrencia, así como la secuencia más lógica que pueden tener.

LIMITACIONES

- Es difícil pensar al revés (de la falla a sus causas)
- Es difícil estar seguro de que el árbol está completo (disponibilidad: lo que no se ve, no se extraña)
- Es difícil considerar eventos no independientes y fallas comunes
- El tamaño del árbol de falla crece rápidamente



1.3.5.1.3.3 ÁRBOL DE SUCESOS

El árbol de sucesos es una sencilla técnica de análisis cuantitativo de riesgos que permite complementar el *Árbol de Fallas*. Esta técnica proporciona un proceso secuencial de accidentes hipotéticos a partir de sucesos iniciales indeseados.

Esta técnica desarrolla un diagrama gráfico secuencial a partir de sucesos *iniciadores* o desencadenantes de incidencia significativa y, por supuesto indeseada, para averiguar todo lo que puede acontecer y, en especial, comprobar si las medidas preventivas existentes o previstas son suficientes para limitar o minimizar los efectos negativos. Evidentemente tal suficiencia vendrá determinada por el correspondiente análisis probabilístico que esta técnica también utiliza.

1) PREPARACIÓN

Para una buena aplicación de esta técnica es imprescindible ya contar con los resultados arrojados por las técnicas anteriores, tener los DTI's actualizados, datos de probabilidades y fiabilidad de componentes, datos de fiabilidad humana, además de estar familiarizado con la planta con el fin de conocer y saber como controlar la diversidad de situaciones anómalas que pudieran presentarse en las instalaciones.

Puede ser necesario en algunos casos utilizar la técnica del Árbol de Fallas para estimar algunas probabilidades, especialmente en sistemas de seguridad que encierren cierta complejidad en conocer su capacidad de respuesta.

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

El proceso de desarrollo general de los árboles de sucesos consta de las siguientes etapas:

- **Identificación de sucesos iniciales de interés**

Tras los análisis preliminares de familiarización con la planta es necesario elaborar una lista de sucesos iniciadores lo más completa posible, de acuerdo al alcance del análisis. Dicha lista inicial surgirá principalmente de:

- ▮ Los sucesos iniciadores ocurridos en otras plantas.
- ▮ La comparación con otros análisis previos realizados.
- ▮ El análisis preliminar de sistemas.



Los sucesos iniciadores corresponden a fallos que, de producirse, requieren la respuesta de los sistemas de seguridad, para evitar efectos negativos de importancia.

- **Identificación de funciones de seguridad previstas y de factores de promoción del peligro**

Una función de seguridad es una respuesta activa de previsión o dispositivo, o bien una barrera, capaz de interrumpir la secuencia de un suceso inicial a una consecuencia peligrosa. Éstas pueden ser de muchos tipos, la mayoría de ellas se caracterizan por su respuesta ante fallas. Algunos ejemplos son: sistemas automáticos de seguridad, alarmas de aviso y la consiguiente respuesta de los operarios, barreras o sistemas de contención para limitar los efectos de un accidente.

Hay que considerar también aquellas circunstancias que puedan tener un papel adverso en el desarrollo secuencial de sucesos. Así por ejemplo, en un derrame de sustancias inflamables: ignición o no ignición de la fuga, explosión o deflagración, líquido derramado en interior de cubeto de retención o no, condiciones meteorológicas, etc.

Para ver una lista de las funciones de seguridad, así como los peligros, eventos iniciales, la secuencia que pueden seguir (factores de propagación y de reducción del riesgo) ver apéndice E.

La mayoría de circunstancias y funciones de seguridad son consideradas normalmente de respuesta binaria. Por ejemplo, una válvula de seguridad que deba abrirse para liberar una sobrepresión en un recipiente, tendrá en el análisis una doble opción: abrirse o no abrirse.

- **Construcción de los árboles de sucesos con inclusión de todas las posibles respuestas del sistema**

La representación gráfica del árbol se realiza siguiendo la progresión cronológica de sucesos previsibles, a partir del suceso iniciador considerado, en principio, de interés. Convencionalmente se construye el diagrama de izquierda a derecha.

En línea de cabecera horizontal se indican las diferentes funciones de seguridad y circunstancias a considerar en el orden cronológico esperado, las cuales corresponderán en el desarrollo del árbol con los nudos en los que la respuesta afirmativa se traduce en una línea vertical ascendente y la negativa en una línea descendente, para proseguir luego horizontalmente a cada uno de los sucesivos nudos. Solamente los nudos que afecten materialmente a las consecuencias deberían ser mostrados explícitamente en el árbol de sucesos. Algunas ramas pueden ser más desarrolladas que



otras, según necesidades. Las secuencias finales del árbol recogerán las diferentes situaciones de éxito o fracaso.

- **Clasificación de las respuestas indeseadas en categorías de similares consecuencias**

Muchas consecuencias desarrolladas a través de las diferentes ramas del árbol serán similares (por ejemplo, una explosión puede ser la consecuencia de diversos sucesos en los que estén implicadas sustancias inflamables o explosivas). Por ello las respuestas finales indeseadas deben ser clasificadas de acuerdo al tipo de modelo de consecuencias que debe ser estudiado para completar el análisis.

- **Estimación de la probabilidad de cada secuencia del árbol de sucesos**

A cada una de las secuencias del árbol le corresponde una determinada probabilidad de acontecimiento. Consecuentemente la suma de las probabilidades de cada nudo ante las diferentes alternativas valdrá 1,0. Ello será válido tanto para respuesta binaria como múltiple.

- **Cuantificación de las respuestas indeseadas**

La frecuencia de cada una de las posibles consecuencias podrá ser determinada por el producto de la frecuencia del suceso inicial y de cada una de las probabilidades de los sucesos intermedios.

Como comprobación, la suma de todas las frecuencias de las diferentes consecuencias, tanto las favorables como las desfavorables, debe coincidir con la frecuencia del suceso inicial. El tratamiento sería más complejo si hubiera dependencia entre los diferentes sucesos o hubiera situaciones de parcial éxito o fracaso.

Si lo que nos interesa es determinar la probabilidad conjunta de consecuencias negativas, al margen de su individualizada importancia, deberemos efectuar la adición de frecuencias de todas estas. Ello tendrá sentido normalmente cuando la magnitud de las consecuencias negativas sea similar.

Por motivos de simplificación y cuando se pretenden valores orientativos en el cálculo de la probabilidad de cada acontecimiento final indeseado, se multiplican exclusivamente las probabilidades de fallo de las diferentes secuencias, despreciando las probabilidades de éxito.



- Verificación de todas las respuestas del sistema

Debido a la limitación de datos disponibles o a incorrecciones en la aplicación del método en el proceso estudiado, al haberse omitidas importantes ramas del árbol, pueden alcanzarse resultados del árbol incorrectos. Para evitarlo es fundamental cubrir adecuadamente esta etapa final de verificación de resultados, aplicando el sentido común y contrastando con datos históricos.

3) RESULTADOS

Los resultados obtenidos con esta técnica serán: la evaluación de los sistemas de seguridad de la planta y una determinación del escenario del accidente que tenga la mayor probabilidad de ocurrencia.

LIMITACIONES

Las limitaciones son las mismas que las del Árbol de Fallas.

1.3.5.2 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS^{5,25}

El Análisis de Consecuencias de accidentes mayores intenta reproducir los posibles daños a personas e instalaciones mediante el uso de los modelos matemáticos de dispersión, incendio o explosión que simulan el escape de sustancias tóxicas e inflamables.

Los modelos matemáticos generan información muy útil que permite evaluar el diseño de nuevos procesos y en caso de instalaciones en operación, señala si los sistemas de seguridad y de emergencia son los adecuados o se deben mejorar.

1) PREPARACIÓN

La información requerida para el análisis de consecuencias es la siguiente:

- Datos meteorológicos (temperatura promedio al año o mes, velocidad promedio del viento, tiempo de lluvias, etc.)
- Tiempo de respuesta de los equipos de emergencia (este tiempo servirá para calcular el tiempo en el que se lleva a cabo la descarga)



- Establecimiento de las características de proceso y condiciones físicas en las que se lleva a cabo el accidente (presión, temperatura y composición en la sección del proceso analizado; altura de la descarga, ubicación de la fuga, puntos posibles de ignición, etc.)
- Propiedades de las sustancias a analizar. (Ver HDS, apéndice F)

2) REALIZACIÓN DEL ESTUDIO

Un análisis de consecuencias consta de cuatro etapas a saber: selección de los eventos indeseables que se deben analizar; la especificación de los escenarios; la determinación de los parámetros de afectación y; la cuantificación de las consecuencias sobre el entorno.

- **Selección del suceso indeseable**

La selección del suceso no deseado se hace a partir de los resultados obtenidos con las técnicas de análisis de riesgos que se han señalado anteriormente. La selección del suceso se basa en la probabilidad de que el accidente se materialice, es decir, se seleccionaran aquellos accidentes que tengan la mayor probabilidad de ocurrencia.

- **Especificación del escenario**

La especificación del escenario es la etapa en que a partir del conocimiento de los síntomas o causas intermedias y de los resultados del Árbol de Sucesos, se describe en detalle la física del accidente. Ésta se basará en establecer sus propiedades físicas y químicas de la sustancia, la razón de la descarga, la cantidad de sustancia liberada, los datos meteorológicos en los que se lleva a cabo, las posibles fuentes de ignición, etc., también se identifican todas las posibles formas de evolución del suceso, debido a que el accidente puede aumentar la probabilidad de que exista un efecto domino y en caso de que existan dos accidentes con una alta probabilidad de que ambos se realicen al mismo tiempo señalar que daños se creé que puedan tener.

- **Determinación de los parámetros de afectación.**

Para la obtención de los parámetros de afectación se utiliza un software especializado que simula los sucesos indeseados y determinar los radios de afectación. Este software tiene que estar en una lista de programas aceptados en México por el Instituto Nacional de Ecología (INE), de lo contrario se tendría como inaceptable aunque sus resultados fueran precisos.



Al establecer los parámetros de afectación es necesario establecer ciertos niveles de exposición (tanto para radiación como para explosión), que permitan entender mejor los resultados. Estos niveles se presentan en las tablas 1.3.2 y 1.3.3

TABLA 1.3.2 LOS NIVELES DE RADIACIÓN TÉRMICA	
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 limite se considera como zona de seguridad
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 limite de zona de amortiguamiento
12.5 kw/m ² (3,963 BTU/h/ft ²)	Es la energía mínima requerida para la ignición pilotada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 1% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como zona de alto riesgo

Crowl, Chemical Process Safety of the Fundamentals with Applications, EUA 1999

TABLA 1.3.3 LOS NIVELES DE SOBREPRESIÓN	
PRESIÓN	DESCRIPCIÓN
0.5 lb/pulg ² (0.02 bar)	Es la sobrepresión a la que se presentan rupturas del 10% de ventanas de vidrio y algunos daños a techos; este nivel tiene la probabilidad del 95% de que no ocurran daños serios. Esta área se considerará como limite de la zona de seguridad
1 lb/pulg ² (0.13 bar)	Es la presión en la que se presenta destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios; provoca el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles. De 0,5 a 1 lb/pulg ² se considerará como la zona de amortiguamiento
2 lb/pulg ² (0.20 bar)	A esta presión se presenta el colapso parcial de techos y paredes de casas. De 1 a 2 lb/pulg ² se considera como la zona de exclusión (zona de alto riesgo)

Crowl, Chemical Process Safety of the Fundamentals with Applications, EUA 1999

- **Cuantificación de las consecuencias sobre el entorno**

En esta etapa se estima el daño que el evento analizado podría infringir a personas, instalaciones y ambiente. Esto se hace a partir de los perfiles de la concentración, de la intensidad de la radiación y de la sobrepresión obtenidos en la etapa anterior; así como del método Probit. Este método es de indole estadístico y nos da una relación entre la función de probabilidad y una determinada carga de exposición a un riesgo.



Método Probit

En este método se parte de una manifestación física de un incidente y nos da como resultado una previsión de los daños a las personas expuestas al incidente (es decir, número de heridos, número de víctimas, etc.).

La fórmula empleada para este modelo de vulnerabilidad se basa en una función matemática lineal de carácter empírico extraída de estudios experimentales:

$$Pr = a + b \ln V \quad (1)$$

Donde:

Pr = «Probit» o función de probabilidad de daño sobre la población expuesta.

A = Constante dependiente del tipo de lesión y tipo de carga de exposición.

B = Constante dependiente del tipo de carga de exposición.

V = Variable que representa la carga de exposición.

El valor «Probit» permite determinar el porcentaje de la población expuesta que se verá afectada a un determinado nivel de lesiones o por muerte a causa de una carga de exposición determinada (tabla 1.3.4)

Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%	Pr	%
0	0	3.72	10	4.16	20	4.48	30	4.75	40	5.00	50	5.25	60	5.52	70	5.84	80	6.28	90	7.33	99.0
2.67	1	3.72	11	4.19	21	4.50	31	4.77	41	5.03	51	5.28	61	5.55	71	5.88	81	6.34	91	7.37	99.1
2.95	2	3.82	12	4.23	22	4.53	32	4.80	42	5.05	52	5.31	62	5.60	72	5.92	82	6.41	92	7.41	99.2
3.12	3	3.87	13	4.26	23	4.56	33	4.82	43	5.08	53	5.33	63	5.61	73	5.96	83	6.48	93	7.48	99.3
3.25	4	3.92	14	4.29	24	4.59	34	4.86	44	5.10	54	5.36	64	5.64	74	5.99	84	6.55	94	7.51	99.4
3.36	5	3.96	15	4.33	25	4.61	35	4.87	45	5.13	55	5.39	65	5.67	75	6.04	85	6.64	95	7.55	99.5
3.45	6	4.10	16	4.36	26	4.64	36	4.90	46	5.15	56	5.41	66	5.71	76	6.08	86	6.75	96	7.65	99.6
3.52	7	4.05	17	4.39	27	4.67	37	4.92	47	5.18	57	5.44	67	5.74	77	6.13	87	6.83	97	7.75	99.7
3.59	8	4.08	18	4.42	28	4.68	38	4.95	48	5.20	58	5.47	68	5.77	78	6.18	88	7.06	98	7.88	99.8
3.66	9	4.12	19	4.45	29	4.72	39	4.97	49	5.23	59	5.50	69	5.81	79	6.23	89	7.33	99	8.09	99.9

La variable dependiente Pr se ha establecido como una variable aleatoria según una distribución estadística normal con un valor medio de 5 y una desviación tipo (desviación estándar) de 1, lo cual significa que a un porcentaje del 50% corresponde un valor del «Probit» = 5

Este método se puede emplear para determinar el porcentaje de personas afectadas por intoxicación, por radiación térmica y por sobrepresión.



Método Probit de Vulnerabilidad a Radiaciones Térmicas

Se emplea para determinar el porcentaje de personas afectadas por los efectos de las radiaciones térmicas en función de la intensidad de irradiación recibida y del tiempo de exposición (dosis de radiación calorífica recibida).

Para evaluar los efectos de la radiación sobre las personas se tienen las siguientes ecuaciones generadas por la Organización holandesa para la Investigación Científica.

Quemaduras mortales (protegidos con ropas):

$$Pr = -37,23 + 2,56 \ln (t I^{4/3})$$

Quemaduras mortales (sin protección):

$$Pr = -36,38 + 2,56 \ln (t I^{4/3})$$

Quemaduras de 2º grado:

$$Pr = -43,14 + 3,0188 \ln (t I^{4/3})$$

Quemaduras de 1er. Grado:

$$Pr = -39,83 + 3,0186 \ln (t I^{4/3})$$

Donde:

T = Tiempo efectivo de exposición en segundos.

L = Intensidad de irradiación en W/m².

Método Probit de Vulnerabilidad a Explosiones

Los modelos de consecuencias de explosiones predicen el impacto de la sobrepresión originada por la explosión y la proyección de fragmentos volantes sobre las personas y objetos.

Al considerar las consecuencias sobre las personas se debe hacer distinción entre consecuencias directas e indirectas de una explosión. Entre las primeras están las lesiones de los pulmones y los tímpanos. Entre las segundas se encuentran las lesiones ocasionadas por proyección de fragmentos y por impacto del cuerpo contra obstáculos.

Las ecuaciones Probit para estas consecuencias se han tomado de Eisenberg et al. (1975) y se desglosan a continuación:

Muerte por lesiones pulmonares

$$Pr = -77,1 + 6,91 \ln P$$

P = sobrepresión máxima (N/m²)

**Rotura de tímpano**

$$Pr = - 15,6 + 1,93 \ln P$$

P = sobrepresión máxima (N/m²)

Muerte por impacto del cuerpo

$$Pr = - 46,1 + 4,82 \ln J$$

Donde J = impulso originado por la sobrepresión durante el tiempo de actuación (N. S/m²).

Lesiones por impacto del cuerpo

$$Pr = 39,1 + 4,45 \ln J$$

Donde J = impulso (N.s/m²)

A continuación se indican unos valores de referencia de consecuencias sobre edificios según la sobrepresión alcanzada:

- Daños importantes en edificios (casi completa destrucción): 0,35 bar.
- Daños reparables en edificios: 0,10 bar.
- Rotura de cristales en edificios: 0,05 bar.

Aunque existen modelos de vulnerabilidad para impacto de fragmentos metálicos de los recipientes, proyectados en una explosión, no se han considerado suficientemente representativos y fiables para incluirlos. Cabe destacar que los fragmentos de considerable tamaño pueden alcanzar distancias incluso superiores a 1 Km.

RESULTADOS

Los resultados que se esperan obtener son las zonas de seguridad, amortiguamiento y de alto riesgo (por radiación y/o sobrepresión), en función de los escenarios seleccionados.



CAPÍTULO II

TRABAJO DE CAMPO

En el siglo pasado, la creciente sed de energía se sació con el petróleo, el cual estaba asociado a la producción de máquinas de combustión interna, que llevaron a la creación del automóvil y del avión.

Con la creación en serie de los automóviles, la obtención de gasolina solamente por destilación directa fue insuficiente y de muy baja calidad, lo que implicó buscar nuevas formas de producir más y de mejor calidad, dando origen a lo que hoy conocemos como Refinerías.

Una refinería está dividida en tres etapas: la primera etapa se trata de los procesos de Destilación Atmosférica y de Vacío; la segunda etapa que se conoce como "Conversión de Aceites Pesados", es en donde se llevan a cabo los procesos de Desintegración Catalítica, Hidrodesintegración, Reductora de Viscosidad y Coquización (en donde se obtiene la mayor cantidad de la gasolina) y finalmente; la tercera etapa, en la cual se mejora la calidad de la gasolina por lo que se conoce como "Conversión de Calidad", en ésta etapa se encuentran los procesos de Reformación Catalítica, Alquilación e Isomerización.

La planta de Alquilación tiene como finalidad principal producir gasolina de alta calidad (número de octano de 93), a partir de la combinación de una isoparafina (isobutano) y olefinas (propano-propileno, butileno y pentenos-amilenos), en presencia de ácido fluorhídrico como catalizador. A esta gasolina se le conoce conocida como gasolina alquilada (fórmula química 2,2,4-trimetilpentano).

El isobutano es esencial para este proceso y procede de los butanos de la destilación del crudo, de la reformación catalítica, de la hidrodesintegración y de la desintegración catalítica, mientras que las olefinas provienen de la desintegración catalítica.



2.1 ACTIVIDADES INICIALES

2.1.1 DEFINICIÓN DE ALCANCES

Los alcances que se desean son los siguientes:

- El análisis de riesgos se realizará con el fin de detectar todas aquellas anomalías (identificar deficientes en la instrumentación y equipo de proceso que puede causar situaciones peligrosas) que puedan generar un accidente mayor.
- La sección a analizar será la sección de pretratamiento de carga de la planta de alquilación.
- El objeto de estudio será la operación continua del proceso sin contar otras operaciones (puestas en marcha, arranques, paradas programadas, paradas de emergencia, etc.)

2.1.2 METODOLOGÍA PARTICULAR

La metodología a seguir es la siguiente (ver figura 2.1.1):

- **Identificación de peligros**

Esta etapa se realizará mediante las siguientes técnicas, usadas de manera progresiva.

- Análisis Histórico de Accidentes

La función es establecer las operaciones de la sección de pretratamiento que pudieran generar algún accidente mayor.

- Índice DOW

La función es evaluar el riesgo de las operaciones con potencial de sufrir algún accidente mayor encontrado en la etapa anterior, así como establecer la separación de áreas para el análisis siguiente.

- Análisis HazOp

La función es identificar los peligros, las causas y consecuencias posibles que se pueden generar por la operación anormal del proceso.

- **Análisis de causas**

- Árbol de Fallas

La función es establecer la secuencia de que siguen las causas que originan el evento tope y establecer su probabilidad de ocurrencia.

- Árbol de Sucesos



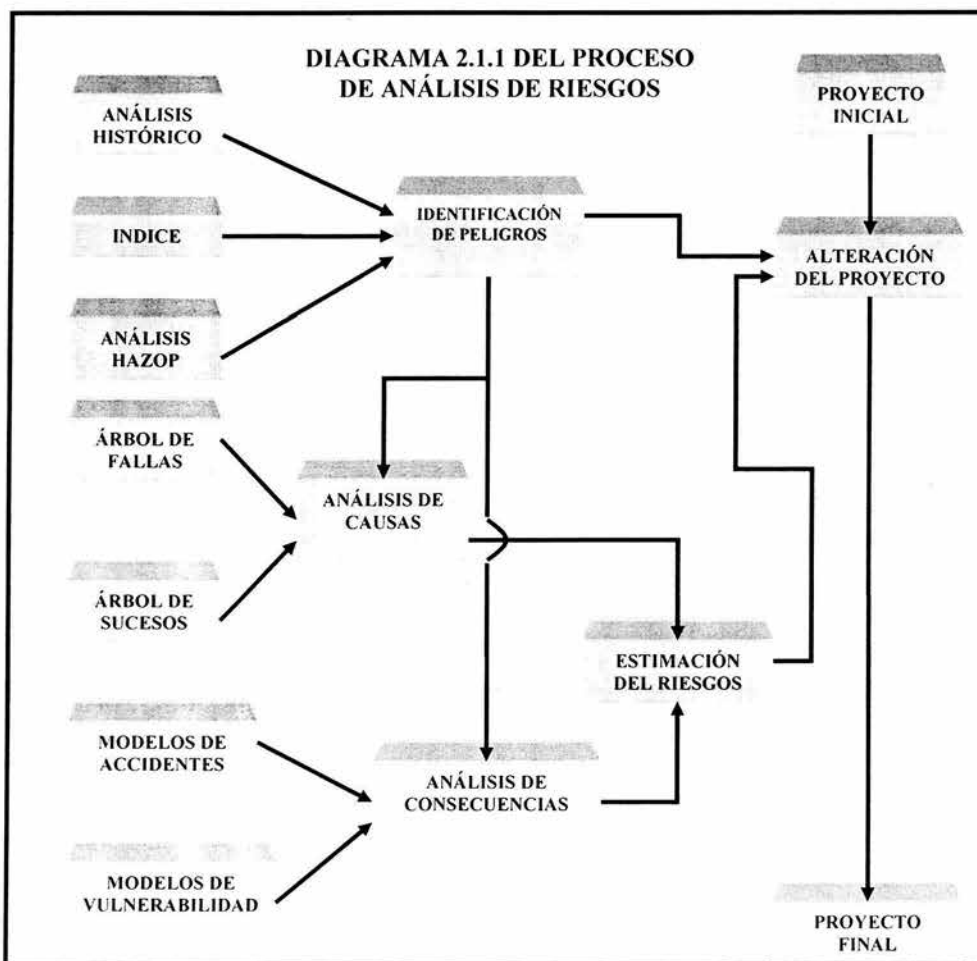
La función es analizar los sistemas de seguridad que eviten el evento tope, así como determinar los escenarios que puede originar éste.

- **Análisis de consecuencias**

- La función es establecer las áreas de afectación por la materialización del evento y determinar la vulnerabilidad del personal e instalaciones

- **Estimación del riesgo**

- La función es establecer el valor de los riesgos encontrados con la finalidad de señalarle a la directiva la magnitud potencial del daño.





2.1.3 COMPILACIÓN DE INFORMACIÓN

2.1.3.1 SECCIÓN DE PRETRATAMIENTO DE CARGA

2.1.3.1.1 DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO

Esta unidad cuenta con tres corrientes de alimentación de olefinas: una proviene de transformar el butadieno a 2-buteno (sección Hydrisom), la segunda es una mezcla de propano-propileno-isobutano proveniente de esferas y la tercera esta compuesta por butano-butileno, también proveniente de esferas de almacenamiento.

Debido a la existencia de tres corrientes de alimentación es necesario describirlas por separado y señalar donde se unen para que se pueda comprender mejor la sección.

Corriente 1. Sección Hydrisom

La bomba GA-301 A/B succiona las olefinas de la esfera FA-321, para luego descargarla, con un flujo (F) de 25,000 kg/h, a una presión (P) de 38.0 Kg./ cm² y una temperatura (T) de 38°C, al intercambiador de calor EA-301 A/E, el cual tiene como medio de calentamiento los fondos de la torre DA-301 (T = 104.4 °C y P = 18.28 Kg./ cm²). El flujo de olefinas se controla mediante el controlador de flujo FRC-31101B, el cual actúa una válvula de control en la línea de alimentación al intercambiador. La temperatura a la que sale la corriente es controlada con el TIC-31105 que actúa una válvula de control en la línea del bay-pass de la corriente de calentamiento.

Después de salir del intercambiador se le adiciona hidrógeno, que está disponible a 38 °C y 33 kg/ cm². Dado que no se proporciona nada para manipular la presión de esta corriente, ésta presión fijará el límite superior en la presión de operación del reactor. El flujo de hidrógeno se controla por el relacionador FIC-31101, el cual determina el flujo apropiado para el hidrógeno y envía la señal al FY-31101^a que actúa una válvula de control en la línea de alimentación de hidrógeno. La cantidad de hidrógeno adicionado a la corriente de olefinas es pequeña y se disolverá en la corriente líquida.

A la corriente de olefinas e hidrógeno se le incrementa su temperatura a 94°C, con la ayuda de un intercambiador de calor EA-302, que utiliza vapor de media. La temperatura es controlada por el controlador TIC-31103 el cual actúa una válvula de control en la línea de suministro de vapor. Posteriormente pasa a el mezclador estático ME-301 que se utiliza para asegurar que la temperatura sea uniforme.



Al abandonar el mezclador estático, la mezcla de hidrógeno/hidrocarburos fluye dentro del Reactor Hydrisom DC-301 por la parte superior, operando a 93°C y a 33 kg/cm².

Debido a que la saturación del butadieno a buteno es exotérmica, produciendo un incremento en la temperatura, el Reactor Hydrisom DC-301 cuenta con una alarma, que sonara si el incremento alcanza 28°C y el relacionador controlador FIC-31101 envía una señal al FIC-31101A, que reducirá la corriente. Si la temperatura diferencial continúa su incremento, a 39°C, un interruptor causará que la válvula TV-31102 cierre, deteniendo la alimentación de hidrógeno al reactor.

La corriente de olefinas hidratadas del Reactor DC-301 es precalentada (desde 68°C hasta 108°C), en el intercambiador de calor EA-303, por medio de vapor de media presión. El control de temperatura se logra por medio de un controlador de temperatura TIC-31107, que se ubica a la salida de la corriente de olefinas.

Las olefinas hidratadas entran a la agotadora de DME el DA-301, que opera a 17.0 kg/cm² y a 104°C. La corriente es alimentada en el plato 37, donde el DME, hidrógeno, metanol y agua residual son agotados y enviados al domo. Los vapores del domo (el cual trabaja a 62°C y a 18 kg/cm²) son enviados al acumulador FA-302, pero antes se mezcla con una pequeña cantidad de agua a 42 °C, que ayudará a extraer el metanol del hidrocarburo. El flujo de agua de lavado esta controlado por el FIC-31104. Después pasa el condensador EA-305, que enfría la corriente desde 62 °C hasta 50°C.

En el acumulador se separan la fase agua/metanol de la fase hidrocarburo, este acumulador trabaja a 16 kg/cm² y a 50°C. La fase agua/metanol se colecta en la bota de agua y se drena manualmente al drenaje aceitoso. Una pequeña cantidad de hidrocarburo, más hidrógeno, DME y otros componentes ligeros, son venteados del acumulador a control de presión hacia el sistema de gas combustible.

El reflujo se proporciona por las bombas GA-302 A/B (con una $P_{desc} = 20$ kg/cm² y a una $T = 50$ °C), las cuales toman succión del fondo del acumulador. El reflujo entra en el plato 50 de la torre agotadora DA-301. Esta corriente está controlada por el FIC-31105, el cual recibe señal de punto de ajuste desde el LIC-31103 localizada en el acumulador.

Los fondos son calentados por el intercambiador de calor EA-304, que tiene como medio de calentamiento vapor de media. El rehervidor requiere 6600 Kg/h de vapor. El flujo de vapor al rehervidor



está controlado por un controlador de flujo, FIC-31106, el cual recibe señal de punto de ajuste desde el controlador de temperatura TIC-31107, quien tiene un elemento de temperatura en la bajante del líquido del plato 5 de la agotadora. El nivel del fondo de la agotadora se controla por un controlador de nivel, el LIC-31102, el cual proporciona una señal de punto de ajuste al controlador de flujo FIC-31103.

Los fondos, que salen, están compuestos por el refinado C₄ (a 105°C y 19 kg/cm²), el cual es enfriado en dos etapas. Primero cambia calor con la corriente de alimentación en el EA-301 A/E y posteriormente entra a el enfriador de fondos EA-306, donde su temperatura se reduce desde 85°C hasta 38°C con agua de enfriamiento. Continúan fluyendo hacia el secador FF-302 A/B, pero antes de llegar se mezclan con una corriente proveniente de los otros dos pares de secadores (corrientes 2 y 3). El flujo de la corriente proveniente de la sección Hydrisom es de 24 000 Kg/h.

Corrientes 2 y 3 (propano-propileno y butano-butileno)

Los secadores FF-301 A/B están diseñados para remover aproximadamente 465 kg de agua. La alimentación es una mezcla de una corriente de isobutano fresco que es bombeado por las bombas GA-303 A/B, desde las esferas FA-304 y de una corriente de propano-propileno bombeada por las GA-317 A/B proveniente de las esferas FA-315. El flujo total bombeado es de 45 000 Kg/h a una temperatura de 38°C. Los flujos de las corrientes que alimentan a los secadores están controlados por medidores de flujo localizados cerca de la descarga de las bombas.

Los secadores FF-303 A/B están diseñados para remover aproximadamente 180 kg de agua. La alimentación es una corriente de butano-butileno que es bombeado por las bombas GA-318 A/B que trabaja a 18 kg/ cm² y a 38°C, desde las esferas FA-316.

Al igual que las bombas de alimentación de los secadores FF-301 A/B se tiene un controlador de flujo localizado en la descarga de las bombas.

La corriente de salida se mezcla con la corriente proveniente de los secadores FF-301 para posteriormente mezclarse con la corriente proveniente de la sección Hydrisom y entrar a los secadores FF-302 A/B. La mezcla se realiza a la presión de 16 kg/ cm² y a la temperatura de 38.0°C.

Finalmente la corriente llega al mezclador ME-302, con una presión de 13.8 kg/ cm² y una temperatura de 38°C, en donde se mezcla con la corriente de isobutano de recirculación que tiene la



misma presión y temperatura que la corriente de olefinas. Al salir del mezclador la corriente se divide en dos y es mezclada con el ácido para entrar a los reactores.

2.1.3.1.2 REACTOR HYDRISOM

Fundamentos del proceso Hydrisom

La utilidad de la unidad Hydrisom radica en la mejora de la calidad de olefinas (compuesta principalmente de butenos) que alimentan a la unidad de Alquilación. Esta mejora de la calidad de la carga se refleja en la sección de reacción en las formas siguientes:

- Minimizando la cantidad de compuestos que contribuyen a la formación de ácidos solubles en agua (ASAs), como es el caso del butadieno. Aproximadamente 128 Kg de HF se consumen por cada metro cúbico de butadieno en la alimentación a la unidad. La unidad Hydrisom está diseñada para que virtualmente todo el butadieno se convierte en buteno.
- Convirtiendo el 1-buteno en 2-buteno. El beneficio que se obtiene es debido a que el 2-buteno origina un producto alquilado aproximadamente 3 números de octano mayor que el producido por el 1-buteno.

El reactor es un recipiente de 762 mm DI: x 13433 mm T-T de altura, el cual opera a 90 °C y 33 kg/ cm² y está empacado con aproximadamente 4737 Kg de catalizador. El material activo que sirve de catalizador esta compuesto por el 0.05 % en peso de paladio, sobre esferas de alúmina de 8-14 mallas.

La corriente de alimentación al reactor será de manera líquida, porque de lo contrario se pueden presentar áreas con gran concentración de hidrógeno/hidrocarburo resultando en una excesiva saturación del buteno a butano. Pero si la corriente permanece líquida, entonces la reacción será líquida a lo largo del reactor, consumiendo la mayor cantidad de hidrógeno de manera progresiva.

Conversión de butadieno a 2-buteno

La conversión del 90 % de butadieno a 2-buteno se logra usando una cama de catalizador de paladio soportado en alúmina en presencia de hidrógeno. La conversión se lleva a cabo en la superficie del catalizador y no en la solución, con un rango de temperatura de 72-165 °C

La reacción se lleva a cabo de la siguiente forma:



El primer paso de la reacción es la adsorción del hidrógeno en la superficie del catalizador. Después se forma un complejo entre el catalizador y el alqueno mediante la superposición de orbitales vacantes del metal en el orbital pi lleno del alqueno. En los pasos finales, el hidrógeno se inserta en el doble enlace y el producto saturado se separa del catalizador.

La saturación de butadieno a buteno y de buteno a butano son reacciones exotérmicas, por lo cual, se espera un aumento normal de temperatura de 10 °C a lo largo del reactor. Pero si el incremento es mayor que éste, entonces es probable que se lleve a cabo una saturación excesiva de buteno a butano.

Variables de operación

Las variables de operación que se tiene que tomar en cuenta para llevar a cabo una buena conversión en condiciones controladas son las siguientes:

- Temperatura
- Composición de hidrógeno
- Presión
- Tiempo de residencia

Las variables presión, temperatura y composición son las que determinan que la alimentación permanezca en forma líquida. La disminución de la temperatura, el incremento de presión y la disminución de la relación hidrógeno/hidrocarburo permitirán eliminar la formación de vapor.

De estas tres variables la presión no se puede manipular a gusto debido a que las bombas de suministro se localizan en la casa de bombas que se encuentra en el área de almacenamiento (sitio muy retirado de la planta).

Influencia de las variables sobre la Hidrogenación del butadieno.

- A mayor tiempo de residencia mayor será la eliminación del butadieno.
- A mayor concentración de hidrógeno mayor butadieno se eliminara.
- La presión esta relacionada con el tiempo de residencia, lo que dará que a menor presión se obtendrá mayor tiempo de residencia.



- La temperatura si se mantiene en cierto rango no tendrá ningún efecto importante en la conversión del butadieno a buteno.

Influencia de las variables sobre la Isomerización del buteno.

- A mayor tiempo de residencia mayor será el grado de isomerización (pero también existirá una mayor conversión de los isómeros a butano)
- La temperatura si se mantiene en cierto rango no tendrá ningún efecto importante en la isomerización.
- Al disminuir la presión mayor será la conversión del 1-buteno al 2-buteno
- A menor concentración de hidrógeno mayor será la conversión a 2-buteno

2.1.3.1.3 TORRE DE DESTILACIÓN

La torre de destilación es una columna vertical de 1829 mm D.I. por 37567 mm de longitud T-T. La sección de platos se compone de 50 platos de válvula. La alimentación se realiza en el plato 37. Así mismo, la extracción de agua se realiza abajo del plato chimenea para permitir que el agua atrapada se extraiga de manera manual.

La función de la torre es la eliminación de componentes ligeros (dimetileter, nitrógeno y metano) que acompañan al hidrógeno que no se consumieron en la reacción *Hydrisom*.

2.1.3.1.4 SECADORES DE ALIMENTACIÓN DE CARGA

Una alimentación satisfactoria de hidrocarburo al reactor de la sección de reacción debe contener un máximo de 20 ppm de azufre total, 20 ppm de agua, y 0.008% en volumen líquido de etano y componentes ligeros, 2250 ppm de butadieno y 25 ppm de oxigenados.

Secadores de propileno FF-301 A/B.

Un conjunto de secadores de mezcla, han sido provistos para remover el agua que satura las corrientes de alimentación de propileno y de isobutano fresco.

Los recipientes FF-301 A y FF-301 B son cada uno de 1,676 mm de DI por 7315 mm de longitud tangente a tangente y tienen cada uno una cama la cual contiene material de alúmina activada.



Arriba y abajo de la cama absorbente hay capas de 150 mm de bolas de alúmina de 13 mm de diámetro para soportar y retener la cama respectivamente. Cada secador removerá aproximadamente 465 kg de agua antes de que la regeneración sea requerida. Una regeneración del secador se espera que ocurra cada 24 hr, cuando la unidad está operando a su capacidad de diseño. Las líneas de flujo, hacia y desde los secadores están arregladas de tal manera que un recipiente operará con los flujos de proceso con el segundo recipiente fuera de servicio para su regeneración.

Secadores de butileno FF-303 A/B.

Los secadores del butileno de alimentación FF-303 A/B cumplen con la misma función que los de propileno y tienen el mismo procedimiento de regeneración.

Los secadores del butileno de alimentación, están provistas para remover el agua saturada en la alimentación de butileno, el cual es recibido por la unidad FCC. Los recipientes FF-303 A y FF-303 B son cada uno de 1,219 mm DI: por 6,096 mm de longitud tangente a tangente y tienen una cama la cual contiene material de alúmina activada.

Arriba y debajo de esta cama absorbente hay capas de 150 mm de bolas de alúmina de 13 mm de diámetro para soportar y retener, respectivamente. Cada secador removerá aproximadamente 180 Kg. de agua antes de que la regeneración sea requerida. Una regeneración del secador se espera que ocurra cada 24 horas cuando la unidad opera a la capacidad de diseño. Las líneas de flujo hacia y desde los secadores están arregladas de tal manera que un recipiente operará con los flujos de proceso con el segundo recipiente fuera de servicio para su regeneración.

Secadores de carga fresca FF-302 A/B.

Las instalaciones de secado de la carga fresca están provistas para protección contra el agua en todas las corrientes de alimentación que entran a la unidad de alquilación. Estos secadores toman el hidrocarburo total alimentado y pasa por el secador el cual contiene material de malla molecular. Los recipientes FF-302 A y FF-302 B son cada uno de 991 mm D.I. x 4,877 mm de longitud tangente a tangente y tienen una cama la cual contiene material de malla molecular. Arriba y abajo de esta cama absorbente hay capas de 150 mm de bolas de alúmina de 13 mm de diámetro para soportar y retener, respectivamente. Cada secador removerá aproximadamente 61 Kg. de agua antes de que la regeneración sea requerida. Un secador debe alcanzar 7 días entre regeneraciones cuando la unidad opera a la capacidad de diseño. Las líneas hacia y desde los secadores están arregladas de tal manera



que un recipiente operará con los flujos de proceso con el segundo recipiente fuera de servicio para su regeneración.

El procedimiento de regeneración de un secador después de que ha sido sacado del ciclo de proceso es el siguiente:

1. Revisar las válvulas de entrada y salida de proceso para asegurarse que están bloqueadas.
2. Abrir la línea de salida de regeneración sobre el secador a ser regenerado.
3. Abrir la línea de entrada de regeneración sobre el secador a ser regenerado.

NOTA: El flujo de regeneración es flujo descendente.

4. Revisar el Condensador de Regeneración del Secador de alimentación fresca (EA-310) para asegurar que el agua de enfriamiento está fluyendo a través del condensador en todo momento.
5. Abrir el suministro de vapor de alta presión hacia el Calentador de Regeneración del Secador de alimentación fresca (EA-309), fijar entonces el flujo de hidrocarburo a través del secador. La temperatura a la salida del calentador de regeneración debe ser controlada a 232 °C. Conforme el hidrocarburo vaporizado entra al secador (el cual esta completamente lleno de líquido cuando es cambiado). El líquido en el secador es desplazado hacia el acumulador FA-306.

NOTA: asegurarse de revisar la bota coalescedora del acumulador de regeneración. Durante el ciclo de regeneración el nivel de agua en la bota se incrementará lentamente hasta el drenaje aceitoso.

6. Mientras que la circulación de hidrocarburo caliente pasa a través del secador, la temperatura a la salida del secador se incrementará lentamente hasta aproximarse al punto de ebullición del agua a la presión de regeneración. La temperatura del efluente permanecerá casi constantemente durante la mayor parte del ciclo de regeneración. Cuando esencialmente toda el agua sea vaporizada, la temperatura de salida de incrementará y se aproximará a la temperatura del hidrocarburo caliente que entra al secador. Cuando la temperatura de salida del secador alcance un punto máximo (aproximadamente 14 °C por debajo de la temperatura de entrada), se considera que la regeneración se ha completado.
7. Cuando la regeneración está completa, se debe continuar la circulación de hidrocarburos reduciendo el suministro de vapor hasta que la temperatura de salida de la cama sea de aproximadamente de 65-71°C.



8. Cerrar la válvula de salida del secador hacia el condensador y lentamente llenar el secador con líquido desde la entrada del fondo hasta que el secador este lleno de líquido.
9. Por corto tiempo abrir el bay-pass alrededor de la PSV para asegurar que el secador esta lleno de líquido, cerrar entonces la válvula de entrada al secador.
10. Intercambiar los secadores, siendo cuidadoso de no bloquear el flujo de proceso mientras se intercambian.

Nota: Este procedimiento también se aplica a los sistemas de regeneración de los secadores FF-301 A/B y FF-303 A/B, con sus respectivos equipos.

2.1.3.2 INFORMACIÓN ADICIONAL

DIAGRAMAS

Una revisión de los diagramas (DFP's y DTI's) representa un paso importante para identificar los riesgos potenciales que hay en las instalaciones.

Los DFP's son diagramas que incluye los datos de composición, presión, temperatura y gastos, puede dar información sobre cuales líneas, recipientes, bombas, compresores, etc., manejan materiales peligrosos, así mismo establecer el tipo de escapes que se pueden generar en caso de fuga o derrame; por ejemplo, fase gaseosa, líquida, líquida con flasheo, por arriba o por debajo del punto de inflamación, etc.

Los DTI son una representación esquemática de todas las líneas de proceso, recipientes, válvulas, bombas, etc. Así mismo el análisis de este permite determinar si el control de proceso es adecuado y suficiente, y si es posible modificarlo para eliminar riesgos y mejorar la operación.

Los DGLE's representan la ubicación de todos los equipos e instalaciones de la planta de proceso, por lo cual al ser revisados permiten determinar si existen todos los equipos indicados o ha habido modificaciones. Además sirven para plasmar en él, las áreas de afectación obtenidas en el análisis de consecuencias.

Los diagramas se pueden consultar en el apéndice H

**2.2 ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES** 4.8,12,13,21,26,30,31**INVENTARIO DE EQUIPOS Y SUSTANCIAS**

El listado de equipos en relación a sus características físicas, su función y las sustancias que manejan se presentan en la tabla 2.2.1, y la relación de equipos se muestra en la tabla 2.2.2

) TABLA 2.2.1 EQUIPOS DE PROCESO Y SERVICIOS AUXILIARES EN LA SECCIÓN DE PRETRATAMIENTO		
SEÑALIZACIÓN DE EQUIPO	CARACTERÍSTICAS	SUSTANCIAS QUE MANEJA
FA-301	Esferas de almacenamiento Capacidad = 1590 m ³ DI = 14,500 mm Acero al carbón	Propileno, propano, butileno, isobutano, n-butano, pentenos y agua
GA-301 A/B	Bombas de alimentación de olefinas Tipo centrífuga vertical Capacidad 46.9 / 58.6 m ³ / h Acero al carbón.	
EA-301 A/E	Calentador de proceso-proceso Tipo AES Capacidad = 919.800 Kcal / h Área = 640 m ² SA-116 GR / SA-179	
EA-302	Calentador con vapor de media Tipo AES Capacidad = 34,020 Kcal / h Área = 10.5 m ²	Propileno, propano, butileno, isobutano, n-butano, pentanos, agua, hidrógeno, inertes y etano
ME-301	Mezclador estático tubular Acero inoxidable.	
DC-301	Reactor Hydrisom empacado DI = 702.0 mm TT = 13435 mm ASMT A-516 GR 70	
EA-303	Calentador por vapor de media Tipo BEU Capacidad de 777.160 kcal / h Área = 8.84 m ² SA-106 GR B / SA-179	
DA-301	Torre agotadora de DME con:50 platos DI = 1829 mm TT = 37567 mm	
EA-305	Condensador de domo de la Torre Tipo AES Capacidad de 3,011,589.0 kcal / h Área = 33.7 m ² SA-516 GR 70 / SA-179	Hidrogeno, gases inertes, etano, propileno, propano, butileno, isobutano, n-butano, agua
FA-302	Acumulador de reflujo de la Torre DI = 1,981 mm TT = 7,620 mm ASTM A-516 GR 70	Hidrogeno, gases inertes, etano, propileno, propano, butileno, isobutano, n-butano, agua
GA-302 A/B	Bombas de reflujo Tipo centrífuga horizontal Capacidad 93.4 / 116.8 m ³ / h Acero al carbón	



EA-304	Rehervidor de fondos de la torre DME Tipo BEU Capacidad de 2,974,830 kcal / h Área = 29.0 m ² --- / SA-179	Hidrogeno, gases inertes, etano, propileno, propano, butileno, isobutano, n-butano, agua
EA-306	Enfriador de olefinas Tipo AES Capacidad = 758,016 Kcal / h Área = 102.0 m ²	Butileno, isobutano, propano, n-butano, pentano, agua
FA-304	Esferas de almacenamiento de isobutano Capacidad = 1590 m ³ DI = 14,500 mm C. S. USITEN 375-1	Propano, isobutano y n-butano
GA-303 A/B	Bombas de alimentación de isobutano. Tipo centrífuga vertical Capacidad 53.1 / 66.3 m ³ / h Acero al carbón	
FA-315	Esferas de almacenamiento de propileno Capacidad = 1590 m ³ DI = 14,500 mm C. S. USITEN 375-1	Etano, propileno, propano
GA-317 A/B	Bombas de alimentación de propileno Tipo centrífuga vertical Capacidad 31.4 / 39.3 m ³ / h Acero al carbón	
FA-316	Esferas de almacenamiento de butileno Capacidad = 1590 m ³ DI = 14,500 mm C. S. USITEN 375-1	Propileno, propano, isobutano, butileno, n-butano, pentano
GA-318 A/B	Bombas de alimentación de butileno Tipo centrífuga vertical Capacidad 31.8 / 39.7 m ³ / h Acero al carbón	
FF-301 A/B	Torre secadora de carga de isobutano y propileno DI = 1,219.0 mm TT = 5,096 mm ASTM A-516 GR 70 Acero	Propano, isobutano y n-butano
FF-303 A/B	Torre secadora de carga butileno DI = mm TT = mm ASTM A-516 GR 70 / Acero	Propileno, propano, isobutano, butileno, n-butano, pentano
FF-302 A/B	Torre de secado de carga de isobutano/olefinas DI = 991 mm TT = 4,877 mm ASTM A-516 GR 70 / Acero	Etano, propileno, propano, isobutano, butileno, n-butano, pentano.
EA-308	Condensador de regeneración de FF-301 A/B Tipo AES Capacidad = 1,314,945.0 Kcal / h Área = 263.6 m ² SA-516 GR 70 / SA-179	Etano, propileno, propano, isobutano, n- butano
FA-305	Acumulador de carga de regeneración de FF- 301 A/B DI = 2,743 mm TT = 8,230 mm ASTM A-516 GR 70	Etano, propileno, propano, isobutano, n- butano



GA-304 A/B	Bombas de regeneración de FF-301 A/B Tipo centrífuga horizontal Capacidad 17.4 / 21.5 m ³ / h Acero al carbón	
EA-307	Calentador de regeneración de FF-301 A/B Tipo BEU Capacidad de 590,436.0 kcal / h Área = 20.6 m ² SA-106 GR B / SA-179	Etano, propileno, propano, isobutano, n-butano
EA-332	Condensador de regeneración de FF-303 A/B Tipo AES Capacidad = 562,460.0 Kcal / h Área = 145.8 m ² SA-516 GR 70 / SA-179	
FA-317	Acumulador de carga de regeneración de FF-303 A/B DI = 2,134.0 mm TT = 6,096 mm ASTM A-516 GR 70	Propileno, propano, isobutano, butileno, n-butano, pentano
GA-316 A/B	Bombas de regeneración de FF-303 A/B Tipo centrífuga horizontal Capacidad 5.5 / 6.5 m ³ / h Acero al carbón	
EA-331	Calentador de regeneración de FF-303 A/B Tipo BEU Capacidad de 1,383,210 kcal / h Área = 40.7 m ² SA-106 GR B / SA-179	
EA-310	Condensador de regeneración de FF-302 A/B Tipo AES Capacidad = 412,020 Kcal / h Área = 74.7 m ² SA-516 GR 70 / SA-179	
FA-306	Acumulador de carga de regeneración de FF-302 A/B DI = 1,676 mm TT = 5,029 mm ASTM A-516 GR 70	Etano, propileno, propano, isobutano, butileno, pentano, n-butano
GA-305 A/B	Bombas de regeneración de FF-302 A/B Tipo centrífuga horizontal Capacidad 5.8 / 7.2 m ³ / h Acero al carbón	
EA-309	Calentador de regeneración de FF-302 A/B Tipo BEU Capacidad de 431,170 kcal / h Área = 10.05 m ² SA-106 GR B / SA-179	
ME-302	Mezclador estático tubular SA-106 GR B	Etano, propileno, propano, isobutano, butileno, pentano, n-butano



EQUIPO	NÚMERO DE UNIDADES
Intercambiadores de calor	16
Bombas	16
Reactores	1
Torres de destilación	1
Acumuladores de carga	4
Mezcladores Estáticos	2
Secadores de carga	6
Total de unidades	46

En la tabla 2.2.3 se presenta la relación de sustancias que se manejan en la sección de pretratamiento.

SUSTANCIA PELIGROSA	CANTIDAD MANEJADA EN LA PLANTA* (Kg)
Isobutano	12,000
Butileno	6,500
Propano	1,000
Propileno	5,000
Etano	20
N-butano	2,750
Hidrógeno	4
Pentanos	230
Gases inertes (N ₂ , C)	3
Total	27507

* Valores aproximados

INVESTIGACIÓN EN BASES DE DATOS

Las Bases de Datos que se van a utilizar son:

- Major Accident Reporting System (MARS)*
- Major Hazard Incident Data Service (MHIDAS)*
- European Reliability Data Bank Association (EUREDATA)
- Instituto Nacional de Ecología (INE)

* Nota: Las dos primeras bases de datos se consultaron de manera indirecta a través de las referencias (29) y (30)



Major Accident Reporting System (MARS)

La base de datos MARS posee información sobre 365 accidentes, que abarcan desde 1980 hasta 1999 y está limitado a los ocurridos en países de la Comunidad de Estados Europeos (CEE).

El total de accidentes registrados son 365 hasta la última consulta, los cuales se pueden clasificar según el origen del suceso (tabla 2.2.4), el lugar específico (tabla 2.2.5) y la causa general que los ha originado (tabla 2.2.6).

ORIGEN GENERAL	PORCENTAJE (%)
Proceso	55.88
Almacén	26.55
Transporte	10.39
Otros	7.17

ORIGEN ESPECIFICO	PORCENTAJE (%)
Unidad de destilación	12.5
Reactor	47.9
Sistema de secado	6.2
Tanque de mezcla	4.2
Compresor	2.1
Banda transportadora	2.1
Intercambiador de calor	6.2
Otros	6.3
No se sabe/ no se informa	12.9

CAUSA GENERAL	PORCENTAJE (%)
Fallo mecánico	37.5
Error humano	39.6
Fallo de instrumento	16.7
Fallo de servicio	2.1
Variaciones en las condiciones de proceso	4.1



Major Hazard Incident Data Service (MHIDAS)

De forma continua desde 1985, la base MHIDAS recopila datos sobre incidentes que involucran a materias peligrosas, sean o no accidentes mayores. La recopilación desde 1966 y algunos incidentes importantes anteriores a esta fecha incluyen: almacenamiento, transporte y proceso, principalmente para instalaciones químicas y petroquímicas. No contempla: accidentes en plataformas petrolíferas, minas o con productos nucleares. Del total de registros, hay 1907 que ocurrieron en la planta de proceso entre los cuales hay 212 repeticiones (el mismo incidente, pero diferente sustancia), por tanto resultan 1695 incidentes ocurridos en la planta de proceso.

MHIDAS contiene incidentes de 95 países de todo el mundo, particularmente de los Estados Unidos, del Reino Unido, Canadá, Alemania, Francia y la India.

En la tabla 2.2.7 se establece lugar específico donde se ha originado el accidente mayor y en la tabla 2.2.8 se establece la causa general.

ORIGEN ESPECÍFICO	PORCENTAJE (%)
Reactor	28.30
Líneas de proceso	40.54
Bombas/compresores	13.19
Equipos de proceso con llama	7.79
Intercambiador de calor	8.90
Tuberías	1.28

CAUSAS GENERALES	PORCENTAJE (%)
Fallo mecánico	39.5
Impacto	1.16
Error humano	23.97
Fallo de instrumentación	3.58
Fallo de servicios	2.68
Reacción violenta	14.67
Variación condiciones de proceso	6.08
Eventos externos	8.51

**European Reliability Data Bank Association (EUREDATA)**

Desde 1979 la **European Reliability Data Bank Association (EUREDATA)** existe en Europa, dirigiendo sus esfuerzos hacia la captación y procesamiento de datos de fiabilidad en las industrias de proceso y de fabricación.

La tabla 2.2.9 muestra la tasa de fallos/año (realmente lo que muestra es un intervalo) de equipos mecánicos y eléctrico, en la tabla 2.2.10 se muestra la tasa de fallos/año de los instrumentos de control.

TABLA 2.2.9 TASA DE FALLOS DE EQUIPOS MECÁNICOS Y ELÉCTRICO.	
EQUIPOS MECÁNICO Y ELÉCTRICO	TASA (FALLOS/AÑO)
Bombas	
Centrifuga	0.09-0.3
Contra incendio	0.1-1
Combustión interna	0.05-0.4
Aceite	0.09-0.3
Vacio	0.2
Equipo neumático	
Conector	0.01
Intercambiador de calor	0.008-0.3
Juntas	
Tubería	0.004
Anillo tipo en "O"	0.002-0.004
Motor eléctrico	
c.a.	0.01-0.08
c.c.	0.003-0.04
Válvulas mecánicas, hidráulicas, neumáticas, en condiciones normales	
Bola	0.009-0.03
Mariposa	0.009-0.2
Diafragma	0.0006-0.09
Puerta	0.01-0.1
Aguja	0.01
Retención	0.02-0.04
Alivio	0.03-0.08
Solenoide	0.01-0.09

Ver referencia (4)



INSTRUMENTOS	TASA (FALLOS/AÑO)
Alarmas	0.4-0.03
Analizador	0.5-10
Caudal (fluidos)	0.08-2
Controlador	0.2-0.4
Convertidor electroneumático	0.02-0.07
Detectores de incendios	0.008-0.02
Manómetro	0.088
Nivel (líquidos)	0.008-0.04
Elementos de temperatura	0.02-0.03
Válvula de control	0.2-0.9
Válvula manual	0.13

Ver referencia (4)

En lo referente a las sustancias tenemos que: para todos los hidrocarburos la cantidad de reporte dada por Instituto Nacional de Ecología es de 500 kg.

Las causas de los incendios graves en las industrias de transformación de hidrocarburos son mostradas en la tabla 2.2.11

CAUSA	PORCENTAJE (%)
Derrames y escape de líquidos o gas inflamable	17.8
Sobrecalentamiento, superficies calientes, etc.	15.6
Fallos de tuberías y accesorios	11.1
Averías eléctricas	11.1
Corte y soldadura	11.1
Incendios provocados	4.4
Otros	28.7

Ver referencia (11)

Las causas de grandes explosiones en las industrias de transformación de hidrocarburos son mostradas en la tabla 2.2.12



TABLA 2.2.12 CAUSAS DE EXPLOSIONES EN LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN DE HIDROCARBUROS	
CAUSA	PORCENTAJE (%)
Reacción química incontrolada	20.0
Reacción química accidental	15.0
Combustión en el equipo	13.3
Nubes de vapor libres	10.0
Sobrepresión	8.3
Descomposición	5.0
Chispas de combustión	5.0
Fallo de recipientes a presión	3.3
Operación inadecuada	3.3
Otros	16.8

Ver referencia (11)

En la tabla 2.2.13 se señala las fuentes más comunes de ignición.

TABLA 2.2.13 FUENTES DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	
FUENTE	PORCENTAJE (%)
Electricidad	23
El fumar	18
Fricción	10
Recalentamiento de materiales	8
Superficies calientes	7
Llamas de quemadores	7
Incendios premeditados y exteriores	6
Chispa de la combustión	5
Ignición espontánea	4
Corte y soldaduras	4
Chispas mecánicas	2
Sustancias fundidas	2
Reacciones químicas	1
Chispa con electricidad estática	1
Rayos	1
Varios	1



DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS ACCIDENTES

Tuberías.

Fallo por corrosión de tubería.

Descripción del accidente.

Una tubería que transportaba **butileno** líquido a una presión manométrica de 30 psi atravesaba un pozo en donde se localizaban varias válvulas. El pozo estaba lleno de agua contaminada por algún tipo de ácido, la tubería se corroyó y hubo una pequeña fuga. La tubería se vació para ser reparada y se llenó de agua a una presión manométrica de 110 psi. La tubería se diseñó para soportar esta presión, de cualquier manera en su estado de corrosión no la soporto y el bonete de una válvula se desprendió bruscamente el operador consiguió aislar el agua, esto permitió al **butileno** salir por el agujero que estaba abierto en la tubería. Veinte minutos más tarde explotó causando daños considerables. **Ver referencia 13, página 174**

Intercambiadores de calor.

Fugas hacia el interior de las líneas de vapor y agua.

Descripción del accidente.

Durante la parada de una planta se paró el flujo de agua de enfriamiento a un intercambiador de calor de carcasa y tubos. El **propileno** que circulaba por la carcasa se enfrió y bajo su presión. El agua de los tubos se congeló, rompiéndose siete pernos. Los operadores observaban cómo se formaba hielo en el exterior del refrigerador, pero pensando que no era peligroso no hicieron nada para evitarlo. Cuando la planta se puso en marcha de nuevo, el **propileno** entro en el sistema de agua de refrigeración y la presión rompió una línea de 16 pulgadas de diámetro. El gas se incendió en un horno que se encontraba a 40 metros de distancia causando graves daños. **Ver referencia 13, página 198**

Aislamiento de equipo.

Fuga de un gas inflamable en una bomba.

Descripción del accidente.

Una bomba de **butano** lista para su revisión estaba aislada únicamente por sus válvulas. Cuando se abrió, la bomba y las líneas adyacentes se encontraban llenas de hidrato un compuesto de agua y **butano** sólido a mayor temperatura que el hielo. Se utilizó una manguera de vapor para limpiar



el taponamiento. Poco después hubo una fuga de **butano** que se inflamó por el calor de un horno situado a cuarenta metros de la fuga y explotó. **Ver referencia 13, página 9**

Válvulas para drenaje y venteo.

Fuga de benceno.

Descripción del accidente.

Un trabajador estaba drenando agua, a través de una línea de dos pulgadas de diámetro, de un tanque receptor de una columna de destilación que contenía benceno. Dejó que corriese el agua durante unos minutos para atender otros trabajos. Tanto si había menos agua de lo habitual como si estuvo ausente más tiempo del debido, el resultado es que empezó a salir benceno por la válvula de drenaje. Antes de que pudiera cerrarla, el benceno se prendió en el horno que calentaba la columna de destilación. El operario sufrió grandes quemaduras que le provocaron la muerte. **Ver referencia 13, página 130**



2.3 ÍNDICE DOW DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN ^{2.9}

Para la selección de la unidad de proceso se utiliza la información del apartado 2.2 que se refiere al **Análisis Histórico de Accidentes**, en el cual se encontró que los sitios con mayor frecuencia de sufrir algún accidente son:

- El Reactor Hydrisom (DC-301)
- La Torre Agotadora (DA-301)
- Las Secciones de Regeneración de las Secadoras de Carga olefinas/isobutano (FF-301 A/B, FF-302 A/B y FF-303 A/B). De las cuales sólo se analizarán los FF-302 A/B debido a su importancia en el proceso.

La selección de la sustancia química que se utilizó para obtener el Factor Material esta en función de su cantidad en el proceso y en su importancia. Por lo que, para el reactor se utilizó el butileno y tanto en la torre como en los secadores se utilizó el isobutano.

Para determinar el grado de peligro de la unidad de proceso seleccionada, en la referencia (5) se establece la siguiente escala.

TABLA 2.3.1 GRADO DE PELIGRO PARA EL ÍNDICE DE FUEGO Y EXPLOSIÓN	
RANGO DEL IF&E	GRADO DE PELIGRO
1 - 60	Ligero
61 - 96	Moderado
97 - 127	Intermedio
128 -158	Alto
>158	Severo

Ver referencia (5)

Los puntos adicionales de realización del estudio se pueden observar en los formatos siguientes.



ÍNDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIÓN DEL REACTOR HYDRISOM (DC-301)

AREAPAIS MÉXICO	DIVISION REFINACIÓN	LOCALIDAD	FECHA ENERO/2003
SITIO ALQUILACIÓN	UNIDAD DE MANUFACTURA SEC. DE PRETRATAMIENTO	UNIDAD DE PROCESO DC-301	
PREPARADO POR ARTURO CORTÉS	APROBADO POR: (Superintendente)	EDIFICIO	
REVISADO POR: (Gerencia)	ABROBADO POR: (Centro tecnológico)	REVISADO POR: (Seguridad y Prevención)	
MATERIALES EN LA UNIDAD DE PROCESO ISOBUTANO, BUTILENO, N-BUTANO			
ESTADO DE OPERACIÓN _ DISEÑO _ ARRANQUE <input checked="" type="checkbox"/> OPERACION _ PARO		MATERIAL BASICO PARA EL FACTOR MATERIAL BUTILENO	
FACTOR MATERIAL			16
1. Riesgos Generales de Proceso			
Factor Base		Rango del factor de penalización	Factor de penalización empleado
A. Reacciones Químicas Exotérmicas		1.00	1.00
B. Procesos Endotérmicos		0.30 a 1.25	0.300
C. Manejo y Transferencia de Material		0.20 a 0.40	0.000
D. Unidades de Proceso Cerradas o Techadas		0.25 a 1.05	0.000
E. Acceso		0.25 a 0.90	0.000
F. Drenaje y Control de Derrames		0.20 a 0.35	0.200
		20,598 gal	0.25 a 0.50
Factor de Riesgos Generales de Proceso (F₁)			1.750
2. Riesgos Especiales de Proceso			
Factor Base		1.00	1.00
A. Materiales Tóxicos		0.20 a 0.80	0.400
B. Presiones Sub-atmosféricas (<500 mmHg)		0.50	0.000
C. Operación Dentro o Cerca del Rango de Inflamabilidad		<input type="checkbox"/> Inerte <input checked="" type="checkbox"/> No Inerte	
1. Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables		0.50	0.000
2. Falla del proceso o Falla en el purgado		0.30	0.000
3. Siempre en Rango de Inflamabilidad		0.80	0.000
D. Explosiones por Finos		0.25 a 2.00	0.000
E. Presión		Presión de Operación 455 psig	0.65
		Presión de Alivio 469 psig	0.67
F. Bajas Temperaturas		0.20 a 0.30	0.000
G. Cantidad de Material Inestable o Inflamable		Cantidad 5000 lb H _c = 20,800 BTU/lb	
1. Líquidos y gases en proceso			0.160
2. Líquidos y gases en almacenamiento			0.000
3. Combustibles sólidos en almacenamiento, finos en proceso			0.000
H. Corrosión y Erosión		0.10 a 0.75	0.100
I. Fugas en Juntas y Empaques		0.10 a 1.50	0.100
J. Uso de Equipo a Fuego Directo			0.000
K. Sistemas de Intercambio de Calor con Aceite Caliente		0.15 a 1.15	0.000
L. Equipo Dinámico		0.50	0.500
Factor de Riesgos Específicos de Proceso (F₂)			2.981
Factor de Riesgos de la Unidad de Proceso (F₁ x F₂ = F₃)			5.217
Índice de Fuego y Explosión (F₃ x FM = IF&E)			83.500



FACTORES DE CRÉDITO POR CONTROL DE PÉRDIDAS

1. Factor de Crédito por Control de Proceso (C₁)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Poder de Emergencia	0.98	0.980
b. Enfriamiento	0.97 a 0.99	0.980
c. Control de Explosión	0.84 a 0.98	0.900
d. Paro de Emergencia	0.96 a 0.99	0.980
e. Control Computarizado	0.93 a 0.99	0.950
f. Gas Inerte	0.94 a 0.96	0.940
g. Procedimientos/ Guías de Operación	0.91 a 0.99	0.990
h. Revisión de Reactivos Químicos	0.91 a 0.98	0.910
i. Otros Análisis de Riesgos.	0.91 a 0.98	0.980
Valor de C₁		0.668

2. Factor de Crédito por el Aislamiento de Material (C₂)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Válvulas de Control Remoto	0.96 a 0.98	0.970
b. Vaciado / Desfogue	0.96 a 0.98	0.970
c. Drenaje	0.91 a 0.97	0.950
d. Lógicos de Control	0.98	0.980
Valor de C₂		0.876

3. Factor de Crédito por Protección Contra-incendio (C₃)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Detección de Fugas	0.94 a 0.98	0.940
b. Acero Estructural	0.95 a 0.98	0.980
c. Suministro de Agua Contra-incendio	0.94 a 0.97	0.950
d. Sistemas Especiales	0.91	0.910
e. Sistemas de Espreas	0.74 a 0.97	0.900
f. Cortinas de Agua	0.97 a 0.98	0.970
g. Espumas	0.92 a 0.97	0.920
h. Extinguidores de Mano	0.93 a 0.98	0.930
i. Protección de Cables	0.94 a 0.98	0.960
Valor de C₃		0.571

$$\text{Factor de Crédito por Control de Pérdidas } C_1 \times C_2 \times C_3 = \boxed{0.334}$$

SUMARIO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE PROCESO

1. Índice de Fuego y Explosión	83.5	
2. Radio de Exposición	21.376 m	
3. Área de Exposición	1,435.5 m ²	
4. Valor del Área de Exposición		\$15.360 MM
5. Factor de Daño	0.550	
6. Daño Base Máximo Probable a la Propiedad – [4 x 5]		\$8.500 MM
7. Factor de Crédito por Control de Pérdidas	0.334	
8. Daño Real Máximo Probable a la Propiedad – [6 x 7]		\$2839 MM
9. Dias Máximos Probables de Paro de Producción	30 Dias	
10. Interrupción de Negocios		\$1.258 MM



ÍNDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIÓN DEL TORRE AGOTADORA (DA-301)

ÁREA/PAÍS MÉXICO	DIVISIÓN REFINACIÓN	LOCALIDAD	FECHA ENERO/2003
SITIO ALQUILACIÓN	UNIDAD DE MANUFACTURA SEC. DE PRETRATAMIENTO	UNIDAD DE PROCESO DA-301	
PREPARADO POR: ARTURO CORTÉS	APROBADO POR: (Superintendente)	EDIFICIO	
REVISADO POR: (Gerencia)	ABROBADO POR: (Centro tecnológico)	REVISADO POR: (Seguridad y Prevención)	
MATERIALES EN LA UNIDAD DE PROCESO ISOBUTANO, BUTILENO, N-BUTANO			
ESTADO DE OPERACIÓN _ DISEÑO _ ARRANQUE <input checked="" type="checkbox"/> OPERACIÓN _ PARO		MATERIAL BÁSICO PARA EL FACTOR MATERIAL ISOBUTANO	
FACTOR MATERIAL			16
1. Riesgos Generales de Proceso			
Factor Base		Rango del factor de penalización	Factor de penalización empleado
G	Reacciones Químicas Exotérmicas	0.30 a 1.25	0.000
H	Procesos Endotérmicos	0.20 a 0.40	0.000
I	Manejo y Transferencia de Material	0.25 a 1.05	0.000
J	Unidades de Proceso Cerradas o Techadas	0.25 a 0.90	0.000
K	Acceso	0.20 a 0.35	0.200
L	Drenaje y Control de Derrames	20,598 gal 0.25 a 0.50	0.250
Factor de Riesgos Generales de Proceso (F₁)			1.450
2. Riesgos Especiales de Proceso			
Factor Base		1.00	1.00
M	Materiales Tóxicos	0.20 a 0.80	0.400
N	Presiones Sub-atmosféricas (<500 mmHg)	0.50	0.000
O	Operación Dentro o Cerca del Rango de Inflamabilidad	<input type="checkbox"/> Inerte <input checked="" type="checkbox"/> No Inerte	
1.	Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables	0.50	0.500
2.	Falla del proceso o Falla en el purgado	0.30	0.300
3.	Siempre en Rango de Inflamabilidad	0.80	0.800
P	Explosiones por Finos	0.25 a 2.00	0.000
Q	Presión	Presión de Operación 227 psig Presión de Alivio 261 psig	0.48 0.50
R	Bajas Temperaturas	0.20 a 0.30	0.000
S	Cantidad de Material Inestable o Inflamable	Cantidad 5000 lb H _c = 21,000 BTU/lb	
1.	Líquidos y gases en proceso		0.160
2.	Líquidos y gases en almacenamiento		0.000
3.	Combustibles sólidos en almacenamiento, finos en proceso		0.000
T	Corrosión y Erosión	0.10 a 0.75	0.100
U	Fugas en Juntas y Empaques	0.10 a 1.50	0.100
V	Uso de Equipo a Fuego Directo		0.000
W	Sistemas de Intercambio de Calor con Aceite Caliente	0.15 a 1.15	0.000
X	Equipo Dinámico	0.50	0.500
Factor de Riesgos Específicos de Proceso (F₂)			4.321
Factor de Riesgos de la Unidad de Proceso (F₁ x F₂ = F₃)			6.265
Índice de Fuego y Explosión (F₃ x FM = IF&E)			100.2



FACTORES DE CRÉDITO POR CONTROL DE PÉRDIDAS

4. Factor de Crédito por Control de Proceso (C₁)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
j. Poder de Emergencia	0.98	0.980
k. Enfriamiento	0.97 a 0.99	0.980
l. Control de Explosión	0.84 a 0.98	0.900
m. Paro de Emergencia	0.96 a 0.99	0.980
n. Control Computarizado	0.93 a 0.99	0.950
o. Gas Inerte	0.94 a 0.96	0.940
p. Procedimientos/ Guías de Operación	0.91 a 0.99	0.990
q. Revisión de Reactivos Químicos	0.91 a 0.98	0.910
r. Otros Análisis de Riesgos.	0.91 a 0.98	0.980
Valor de C ₁		0.668

5. Factor de Crédito por el Aislamiento de Material (C₂)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
e. Válvulas de Control Remoto	0.96 a 0.98	0.970
f. Vaciado / Desfogue	0.96 a 0.98	0.970
g. Drenaje	0.91 a 0.97	0.950
h. Lógicos de Control	0.98	0.980
Valor de C ₂		0.876

6. Factor de Crédito por Protección Contra-incendio (C₃)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
j. Detección de Fugas	0.94 a 0.98	0.940
k. Acero Estructural	0.95 a 0.98	0.980
l. Suministro de Agua Contra-incendio	0.94 a 0.97	0.950
m. Sistemas Especiales	0.91	0.910
n. Sistemas de Espreas	0.74 a 0.97	0.900
o. Cortinas de Agua	0.97 a 0.98	0.970
p. Espumas	0.92 a 0.97	0.920
q. Extinguidores de Mano	0.93 a 0.98	0.930
r. Protección de Cables	0.94 a 0.98	0.960
Valor de C ₃		0.571

$$\text{Factor de Crédito por Control de Pérdidas } C_1 \times C_2 \times C_3 = \boxed{0.334}$$

SUMARIO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE PROCESO

11. Índice de Fuego y Explosión	100.2	
12. Radio de Exposición	25.651 m	
13. Área de Exposición	2,067.12 m ²	
14. Valor del Área de Exposición		\$14.380 MM
15. Factor de Daño	0.650	
16. Daño Base Máximo Probable a la Propiedad – [4 x 5]		\$ 9.350 MM
17. Factor de Crédito por Control de Pérdidas	0.334	
18. Daño Real Máximo Probable a la Propiedad – [6 x 7]		\$ 3.123 MM
19. Días Máximos Probables de Paro de Producción	34 Días	
20. Interrupción de Negocios		\$1.385 MM



ÍNDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIÓN DE LOS SECADORES DE CARGA (FF-302 A/B)

ÁREA/PAÍS MÉXICO	DIVISIÓN REFINACIÓN	LOCALIDAD	FECHA ENERO/2003
SITIO ALQUILACIÓN	UNIDAD DE MANUFACTURA SEC. DE PRETRATAMIENTO	UNIDAD DE PROCESO FF-302 A/B SECC. DE REGEN.	
PREPARADO POR: ARTURO CORTÉS	APROBADO POR: (Superintendente)	EDIFICIO	
REVISADO POR: (Gerencia)	ABROBADO POR: (Centro tecnológico)	REVISADO POR: (Seguridad y Prevención)	
MATERIALES EN LA UNIDAD DE PROCESO ISOBUTANO, BUTILENO, N-BUTANO			
ESTADO DE OPERACIÓN <input type="checkbox"/> DISEÑO <input type="checkbox"/> ARRANQUE <input checked="" type="checkbox"/> OPERACIÓN <input type="checkbox"/> PARO		MATERIAL BÁSICO PARA EL FACTOR MATERIAL ISOBUTANO	
FACTOR MATERIAL			16
1. Riesgos Generales de Proceso			
Factor Base		Rango del factor de penalización	Factor de penalización empleado
M.	Reacciones Químicas Exotérmicas	0.30 a 1.25	0.000
N.	Procesos Endotérmicos	0.20 a 0.40	0.000
O.	Manejo y Transferencia de Material	0.25 a 1.05	0.000
P.	Unidades de Proceso Cerradas o Techadas	0.25 a 0.90	0.000
Q.	Acceso	0.20 a 0.35	0.200
R.	Drenaje y Control de Derrames	20,598 gal 0.25 a 0.50	0.250
Factor de Riesgos Generales de Proceso (F₁)			1.450
2. Riesgos Especiales de Proceso			
Factor Base		1.00	1.00
Y.	Materiales Tóxicos	0.20 a 0.80	0.400
Z.	Presiones Sub-atmosféricas (<500 mmHg)	0.50	0.000
AA.	Operación Dentro o Cerca del Rango de Inflamabilidad	<input type="checkbox"/> Inerte <input checked="" type="checkbox"/> No Inerte	
1.	Tanques de almacenamiento de líquidos inflamables	0.50	0.500
2.	Falla del proceso o Falla en el purgado	0.30	0.300
3.	Siempre en Rango de Inflamabilidad	0.80	0.800
BB.	Explosiones por Finos	0.25 a 2.00	0.000
CC.	Presión	Presión de Operación 214 psig Presión de Alivio 410 psig	0.45 0.63 0.321
DD.	Bajas Temperaturas	0.20 a 0.30	0.000
EE.	Cantidad de Material Inestable o Inflamable	Cantidad 5000 lb H _c = 20,800 BTU/lb	
1.	Líquidos y gases en proceso		0.160
2.	Líquidos y gases en almacenamiento		0.000
3.	Combustibles sólidos en almacenamiento, finos en proceso		0.000
FF.	Corrosión y Erosión	0.10 a 0.75	0.100
GG.	Fugas en Juntas y Empaques	0.10 a 1.50	0.100
HH.	Uso de Equipo a Fuego Directo		0.000
II.	Sistemas de Intercambio de Calor con Aceite Caliente	0.15 a 1.15	0.000
JJ.	Equipo Dinámico	0.50	0.500
Factor de Riesgos Específicos de Proceso (F₂)			4.181
Factor de Riesgos de la Unidad de Proceso (F₁ x F₂ = F₃)			6.062
Índice de Fuego y Explosión (F₃ x FM = IF&E)			97



FACTORES DE CRÉDITO POR CONTROL DE PÉRDIDAS

7. Factor de Crédito por Control de Proceso (C₁)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
s. Poder de Emergencia	0.98	0.980
t. Enfriamiento	0.97 a 0.99	0.970
u. Control de Explosión	0.84 a 0.98	0.98
v. Paro de Emergencia	0.96 a 0.99	0.960
w. Control Computarizado	0.93 a 0.99	0.99
x. Gas Inerte	0.94 a 0.96	1.000
y. Procedimientos/ Guías de Operación	0.91 a 0.99	0.99
z. Revisión de Reactivos Químicos	0.91 a 0.98	0.910
aa. Otros Análisis de Riesgos.	0.91 a 0.98	0.910
Valor de C₁		0.726

8. Factor de Crédito por el Aislamiento de Material (C₂)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
i. Válvulas de Control Remoto	0.96 a 0.98	0.960
j. Vaciado / Destoque	0.96 a 0.98	0.970
k. Drenaje	0.91 a 0.97	0.910
l. Lógicos de Control	0.98	0.980
Valor de C₂		0.885

9. Factor de Crédito por Protección Contra-incendio (C₃)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
s. Detección de Fugas	0.94 a 0.98	0.980
t. Acero Estructural	0.95 a 0.98	0.980
u. Suministro de Agua Contra-incendio	0.94 a 0.97	0.940
v. Sistemas Especiales	0.91	0.910
w. Sistemas de Espreas	0.74 a 0.97	0.800
x. Cortinas de Agua	0.97 a 0.98	0.970
y. Espumas	0.92 a 0.97	0.920
z. Extintores de Mano	0.93 a 0.98	0.980
aa. Protección de Cables	0.94 a 0.98	0.960
Valor de C₃		0.552

$$\text{Factor de Crédito por Control de Pérdidas } C_1 \times C_2 \times C_3 = \boxed{0.355}$$

SUMARIO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE PROCESO

21. Índice de Fuego y Explosión	97	
22. Radio de Exposición	24.832 m	
23. Área de Exposición	1,937.2 m ²	
24. Valor del Área de Exposición		\$19,270 MM
25. Factor de Daño	0.63	
26. Daño Base Máximo Probable a la Propiedad – [4 x 5]		\$12,140 MM
27. Factor de Crédito por Control de Pérdidas	0.355	
28. Daño Real Máximo Probable a la Propiedad – [6 x 7]		\$ 4.31 MM
29. Días Máximos Probables de Paro de Producción	50 Días	
30. Interrupción de Negocios		\$1,523 MM



2.4 ANÁLISIS HAZOP

DETERMINACIÓN DE LOS NODOS

NODO 1. Del límite de batería (L.B.) al Reactor DC-301 (Hydrisom)

El reactor cumple con la función de convertir el 1,3-butadieno en 2-buteno, lo que permite obtener tanto un mejor alquilado como disminuir la transformación del HF en ASA's (Aceites Solubles en Agua). Además, cualquier variación en las corrientes que alimentan al reactor, provocaran cambios en su funcionamiento. Por consiguiente, este nodo abarcará desde las bombas de alimentación hasta la salida del reactor.

NODO 2. Torre agotadora de DME (DA-301)

La torre cumple la función de eliminar los productos ligeros que no tiene ninguna relevancia para el proceso permitiendo así una mayor pureza de la corriente que va a entrar a la sección de reacción de la planta. Además la complejidad de la torre (en funcionamiento), nos invita a tomarla como punto importante, ya que un mal funcionamiento detendría toda la sección Hydrisom como en el caso del reactor.

NODO 3. Secadoras de carga FF-301 A/B, 302 A/B y 303 A/B hasta la salida del mezclador ME-302

La sección de reacción puede ser alimentada por tres corrientes distintas (butano-butileno, propano-propileno, sección Hydrisom), que se unen antes de entrar a los secadores FF-302, lo que señala que éste punto es o debe ser de considerado como crítico, ya que algún problema en estos secadores provocaría el paro de la planta. Los otros secadores lo único que pueden provocar es la disminución de la producción y un cambio en el número de octanaje del alquilado.

Los secadores se consideran como un todo debido a que todas y cada una cumplen con la misma función.

NODO 4. Sistema de regeneración de los secadores.

Se considera el sistema de regeneración de los secadores debido a la importancia que tiene la eliminación de las sustancias indeseables (principalmente agua), las cuales aumentarían el consumo de



HF. Otros motivos para considerar el sistema como nodo radica en que es un sistema cerrado y la instrumentación a simple vista contrasta con la gran automatización del resto de la planta.

DESVIACIONES A ANALIZAR

Las desviaciones que se van a analizar en cada uno de los nodos señalados arriba se resumen en la tabla 2.4.1

DESVIACIONES	NODO			
	1	2	3	4
Alta presión	X	X		X
Baja presión		X		
Alta Temperatura	X	X		
Baja temperatura	X	X		
Flujo nulo	X		X	
Flujo inverso				
Más flujo	X			
Menos flujo	X		X	
Alto nivel		X		
Bajo nivel		X		
Más composición	X		X	
Menos composición				



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Limite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 1. Menos flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
1 1. Abierta la válvula de 3"-C4-145-T1KB localizada en el LB. brincando a línea de n-Butano (línea de arranque)	1. Incremento en la temperatura del reactor DC-301, ocasionando el disparo de la sección hydrisom 2. Contaminación del producto n-Butano con olefina	1. Se tiene un medidor de flujo FIC-31101B 2. Se tiene un disparo por alta temperatura TSH-31102	1. Instalar e Incluir junta ciega en operación y en el procedimiento de paro y arranque de la planta	3 (3)	4 (4)	9 (9)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Limite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 2. Mas flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
2 1. Atorada y abierta al 100% la válvula automática FV-31101B.	1. Enfriamiento de la carga al reactor DC-301.	1. Válvula de seguridad del reactor DC-301, PSV-3007A.	1. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	C
	2. Más presión en el reactor DC-301.	2. Alarma por alto flujo FAL-31101B					
	3. Baja eficiencia en el reactor DC-301	3.- Programa de mantenimiento preventivo a válvulas de control.					
3 2. Variaciones de carga en las bombas GA-301A/B.	1. Enfriamiento de la carga al reactor DC-301.	1. Válvula de seguridad del reactor DC-301, PSV-3007A.	1. Seguir cumpliendo con la capacitación y adiestramiento del personal. 2. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	C
	2. Más presión en el reactor DC-301.	2. Alarma por alto flujo FAL-31101B					
	3. Baja eficiencia en el reactor DC-301	3. Alarma y disparo por alta presión en las bombas GA-301 A/B, PSH-31103A.					



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Limite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 3. No flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
4 1. Falla en las bombas GA-301 A/B.	1. Incremento de temperatura en el reactor DC-301. 2. Fuga por bridas en el reactor DC-301. 3.- Fugas en el circuito 4.- Incendio.	1.- Alarma por alta presión (PAH/PAL-31103). 2.- Programa de mantenimiento eléctrico y mecánico preventivo y predictivo. 3.- Indicadores de presión (PI-3006A/B) 4.- Alarma por bajo flujo (FT-31260) 5.- Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1.- Continuar con el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo.	1 (3)	4 (4)	6 (9)	D
5 2. Fallo en cerrado de la válvula de control FV-31101B.	1. Aumento de presión en la descarga de las bombas (GA-301A/B). 2.- Disparo de las bombas GA-301A/B 3.- Fugas por sellos y por bridas. 4. Incendio.	1.- Protección de baja presión de aire de instrumentos. 2.-Sistema local de aire de instrumentos. 3.- Alarmas del sistema de control distribuido. 4.- Programas de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1.- Continuar con el cumplimiento de los programas de mantenimiento preventivo.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Limite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 4. Alta temperatura.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
6 1. Abre de más la válvula TV-31103.	1. Más producción de n-butano en el reactor DC-301. 2. Baja la calidad y el rendimiento del alquilado.	1. Alarma por alta temperatura diferencial en el TDI-31102 y TSH-31102 ubicada en el reactor DC-301. 2. Mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar cumpliendo con el programa de capacitación y adiestramiento del personal para la toma de decisiones.	3 (3)	4 (4)	9 (9)	D
7 2. Mayor inyección de hidrógeno	1. Más producción de n-butano en el reactor DC-301. 2. Baja la calidad y el rendimiento del alquilado. 3. Daño al catalizador. 4. Fugas por bridas. 5. Incendio. 6. Paro de sección.	1. Alarma por alta temperatura diferencial en el TDI-31102 y TSH-31102 ubicada en el reactor DC-301. 2. Actúa la válvula TV-31102 por alta temperatura 3. Cerrar válvula FV-31101A 4. Alarma por alto flujo FT-31101A	1. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar cumpliendo con el programa de capacitación y adiestramiento del personal para la toma de decisiones.	2 (3)	3 (4)	6 (9)	D



Planta: Alquilación.

Círculo: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Limite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 5. Baja temperatura

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
8 1. Cerrada la automática TV-31103.	1. No hay reacción en el reactor DC-301.	1. Alarma por baja temperatura TDI-31102 2. Alarma por baja temperatura TIC-31103	1. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos 2. Seguir cumpliendo con los programas de capacitación al personal.	3 (3)	4 (4)	9 (9)	D
9 2. Abierta la TV-31105 (by-pass de los EA-301 A/E).	1. No hay reacción en el reactor DC-301.	1. Alarma por baja temperatura TDI-31102 2. Alarma por baja temperatura TIC-31105	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con los programas de capacitación al personal.	3 (3)	4 (4)	9 (9)	D
10 3. Tubos rotos en el intercambiador de calor EA-301 A/E.	1. Se directea parcialmente el reactor DC-301 2. Baja temperatura en el reactor. 3. Bajo nivel en la torre DA-301 4. Calentamiento de fondos de la torre DA-301	1. Análisis de laboratorio. 2. Mantenimiento preventivo en paros de planta programados. 3. El LIC-31102 en la torre de DME. 4. El TDI/PDI-31102 en el reactor DC-301, que indicarian la falta de reacción. 5. La PV-31101 que cerraria para mantener la presión en el reactor DC-301. 6. Válvula de relevo PSV-3007A	1. Continuar cumpliendo con los análisis de laboratorio 2. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a intercambiadores.	3 (3)	4 (4)	9 (9)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Limite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 6. Más composición

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
11 1. Mayor concentración de 1,3-butadieno en el reactor.	1. Alta temperatura en el reactor DC-301 (muy exotérmica) 2. Daños en el catalizador 3. Daños en los internos del reactor 4. Mayor consumo de ácido fluorhídrico por formación de ASA's	1. Análisis químico de las esferas de almacenamiento de carga (TE-16 y TE-17) 2. Análisis químico de la carga antes de entrada al reactor. 3. Alarma por alta diferencial de temperatura TDI-31102 4. Cierre de la válvula de corte TV-31102 (hidrógeno)	1. Continuar cumpliendo con el programa de análisis químico de la carga.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 17 de enero de 2003

Nodo: 1. Del Límite de Batería al Reactor DC-301

Diagramas: FQ-DTI-01 y FQ-DTI-02

Producto: Butadieno, Hidrógeno, Propano, Isobutano, Propileno

Desviación: 7. Alta presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
12 1. Falla en cerrada la válvula PV-31101	1. Releva la válvula de seguridad PSV-3007A del reactor DC-301	1. Alarma por alta presión del PAL-31101	1. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's.	1 (1)	1 (1)	1 (1)	A
	2. Fuga por bridas y conexiones en los intercambiadores de calor EA-301 A/E, EA-302 y EA-303	2. La válvula de seguridad PSV-3007A	2. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas automáticas.				
	3. Daños en los internos del reactor.	3. Alarma por alta presión PDT-31102	3. Continuar cumpliendo con los programas de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.				
	4. Incendio.	4. PSH-31103A en las bombas GA-301 A/B					
13 2. Obstrucción a la salida del reactor DC-301 por alúmina aglomerada.	1. Aumento de presión en el reactor DC-301	5. PI-3003 local					
	1. La válvula de seguridad PSV-3007A	1. Continuar analizando la calidad de la carga	1. Continuar analizando la calidad de la carga	3 (2)	3 (4)	7 (7)	D
	2. Releva la válvula de seguridad PSV-3007A del reactor DC-301	2. Alarma por alta presión diferencial del PDI-31102	2. Solicitar a las plantas Hidros I y II mandar hidrógeno libre de incondensables.				
	3. Fuga por bridas y conexiones en el reactor DC-301 y en los intercambiadores de calor EA-301 A/E, EA-302	3. PSH-31103A en las bombas GA-301 A/B	3. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's				
	4. Daños en los internos del reactor	4. Válvula automática de corte TV-31102					
5. Incendio	5. Actúa la PB-31102A	4. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.					



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 1. Alto nivel

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
14 1. Cierra la válvula controladora de flujo FV-31103 a la salida del fondo de la DA-301	1. Enfriamiento de fondos de la torre DA-301 2. Arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301 3. Daños en internos de la torre. 4. Paro de sección.	1. Alarma por alto nivel de TAL-31102 2. Indicador de nivel local LG-3003 3. Alarma por bajo flujo FAL-31103 4. Alarma por baja temperatura TIC-31107	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Contar con el stock de refaccionamiento a válvulas automáticas.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D
15 2. Falsa señal de nivel del LT-31102.	1. Enfriamiento de fondos de la torre DA-301. 2. Arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301 3. Daños en internos de la torre. 4. Paro de sección.	1. Indicador de nivel local LG-3003. 2. Alarma por baja temperatura TIC-31107	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D
16 3. Cero concentración de propano en la carga de la torre DA-301.	1. Disminución de presión en la torre DA-301. 2. Enfriamiento de fondos de la torre DA-301. 3. Arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301. 4. Bajo flujo a la llegada del reactor DA-302.	1. Alarma por alto nivel de TAL-31102 2. Indicador de nivel local LG-3003 3. Alarma por bajo flujo FAL-31103 4. Alarma por baja temperatura TIC-31107	1. Continuar con el análisis químico de la carga. 2. Continuar cumpliendo con el programa de capacitación y adiestramiento del personal en la toma de decisiones.	1 (1)	3 (4)	4 (6)	C



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 2. Bajo nivel

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
17 1. Válvula FV-31103 abierta en mayor % que el requerido.	1. Incremento en la temperatura del fondo de la torre DA-301. 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de gas combustible. 5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302.	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 3. Alarma por alta presión PT-31104 en el FA-302 acumulador de reflujo. 4. Alarma por alto flujo FT-31103 salida del fondo de DA-301. 5. Indicador de nivel local LG-3003 del fondo de la torre DA-301. 6. Alarma por alto nivel del LT-31103 del FA-302. 7. Alarma por alta presión en el PT-31104. 8. Mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D
18 2. Falsa señal en el indicador de nivel LT-31102 de la torre DA-301.	1. Incremento en la temperatura del fondo de la torre DA-301. 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de gas combustible. 5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302.	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 3. Alarma por alta presión PT-31104 en el FA-302 acumulador de reflujo. 4. Alarma por alto flujo FT-31103 salida del fondo de DA-301. 5. Indicador de nivel local LG-3003 del fondo de la torre DA-301.	1. Procedimiento de mantenimiento a los circuitos de control. 2. Continuar con el llenado de las hojas de lectura en campo.	2 (2)	2 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilerón

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 2. Bajo nivel

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
19 3. Cierra la PV-31101 a la salida del reactor Hydrisom DC-301.	1. Incremento en la temperatura del fondo de la torre DA-301. 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de gas combustible por PV-31104. 5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302.	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 3. Alarma por alta presión PT-31104 en el FA-302 acumulador de reflujo. 4. Alarma por bajo flujo FT-31103 salida del fondo de DA-301. 5. Indicador de nivel local LG-3003 del fondo de la torre DA-301,	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Reforzar la capacitación y adiestramiento del personal para la toma de decisiones.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D
20 4. Abierta la válvula PV-31106 suministro de vapor al rehervidor EA-304.	1. Incremento en la temperatura del fondo de la torre DA-301. 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de gas combustible por PV-31104. 5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302.	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por alto flujo de vapor del FT-31106. 3. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 4. LG-3003	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentos. 2. Reforzar la capacitación y adiestramiento del personal en la toma de decisiones.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D



Planta: Alquilerón

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 3. Alta presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
21 1. Cerrada la válvula PV-31104, en el acumulador FA-302.	1. Relevo de PSV-3020 en el FA-302. 2. Relevo de la PSV-3018 de la DA-301. 3. Fugas en bridas y conexiones. 4. Incendio. 5. Paro de sección.	1. PSV-3018 y PSV-3020. 2. Alarma por alta presión en el PT-31104 en el FA-302. 3. Indicadores de presión locales PI-3014 y PI-3013 en el FA-302. 4. PI-3011 en el fondo de la DA-301.	1. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentos.	2 (2)	2 (3)	4 (6)	C
22 2. Válvula de entrada de hidrógeno de arranque abierta.	1. Relevo de PSV-3020 en el FA-302. 2. Relevo de la PSV-3018 de la DA-301. 3. Envío de hidrocarburos a desfogue. 4. Fugas en bridas y conexiones.	1. PSV-3018 y PSV-3020. 2. Alarma por alta presión en el PT-31104 en el FA-302. 3. Indicadores de presión locales PI-3014 y PI-3013 en el FA-302. 4. PI-3011 en el fondo de la DA-301. 5. Alarma por alto flujo FT-31259 en la línea de hidrógeno. 6. Recorridos operacionales. 7. Supervisión para verificar el correcto alineamiento de los circuitos de proceso.	1. Seguir cumpliendo con el procedimiento de arranque de la planta.	2 (2)	2 (3)	4 (6)	C
23 3. Abierta la válvula FV-31106 a reboiler.	1. Relevo de PSV-3020 en el FA-302. 2. Relevo de la PSV-3018 de la DA-301. 3. Envío de hidrocarburos a desfogue. 4. Fugas en bridas y conexiones.	1. PSV-3018 y PSV-3020. 2. Alarma por alta presión en el PT-31104 en el FA-302. 3. Indicadores de presión locales PI-3014 y PI-3013 en el FA-302. 4. PI-3011 en el fondo de la DA-301. 5. Alarma por alto flujo FT-	1. Seguir cumpliendo con el programa de mantenimiento preventivo de instrumentos 2. Seguir cumpliendo con el programa anual de mantenimiento y calibración a PSV's.	2 (2)	2 (3)	4 (6)	C



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 3. Alta presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
24	4. Mayor concentración de propano en la carga.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Relevo de PSV-3020 en el FA-302. 2. Relevo de la PSV-3018 de la DA-301. 3. Envío de hidrocarburos a desfogue. 4. Fugas en bridas y conexiones. 5. Incendio. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. PSV-3018 y PSV-3020. 2. Alarma por alta presión en el PT-31104 en el FA-302. 3. Indicadores de presión locales PI-3014 y PI-3013 en el FA-302. 4. PI-3011 en el fondo de la DA-301. 5. Alarma por alto flujo FT-31259 en la línea de hidrógeno. 6. Recorridos operacionales. 7. Supervisión para verificar el correcto alineamiento de los circuitos de proceso. 8. Alarma por alto flujo FAH-31106. 	1 (3)	2 (2)	3 (6)	C



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 4. Baja presión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
25 1. Abierta en mayor porcentaje la válvula controladora de presión PV-31104 en el FA-302.	1. Inundamiento del acumulador de reflujo FA-302. 2. Envío de gas LP a la red de combustible. 3. Descontrol en el calentador BA-301. 4. Incremento de la temperatura del fondo de la torre DA-304, fraccionadora principal. 5. Bajo nivel en el LIC-31103 en el FA-302 6. Paro de la sección	1. Alarma por baja presión en el PT-31104. 2. Indicador local de presión PI-3013 y PI-3014 en el FA-302. 3. Indicador local de presión PI-3011 en el fondo de la torre DA-301. 4. Alarma por bajo flujo en el FT-31105 en línea de reflujo a la DA-301. 5. Alarma por alta temperatura en el TI-31159 en la salida del calentador BA-301 6. Alarma por alta temperatura TIC-31165 en el fondo de la fraccionadora DA-304.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con la capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D
26 2. Relevo de válvulas de seguridad PSV-3018 de la DA-301.	1. Envío de gas LP al cabezal de desfogue. 2. Disminución de la carga al asentador DA-302. 3. Paro de la sección Hydrisom.	1. Alarma por baja presión PT-31104. 2. Alarma por bajo nivel en el LT-31103 3. Indicador local de presión PI-3013 y PI-3014 en el FA-302. 4. Indicador de presión local PI-3011 en el fondo de la torre DA-301. 5. Alarma por bajo flujo FT-31105 (reflujo de la torre DA-301)	1. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 4. Baja presión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
27 3. Relevo de válvulas de seguridad PSV-3020 de la FA-302.	1. Envío de gas LP al cabezal de desfogue. 2. Disminución de la carga al asentador DA-302. 3. Paro de la sección	1. Alarma por baja presión PT-31104. 2. Alarma por bajo nivel en el LT-31103 3. Indicador local de presión PI-3013 y PI-3014 en el FA-302. 4. Indicador de presión local PI-3011 en el fondo de la torre DA-301. 4. Alarma por bajo flujo FT-31105 (reflujo de la torre DA-301)	1. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D
28 4. Cierre de la válvula FV-31106	1. Aumento del nivel en la torre DA-301 2. Disminución de la carga al asentador DA-302. 3. Paro de la sección	1. Alarma por bajo flujo de vapor en el FV-31106 2. Alarma por baja temperatura TIC-31107 3. Alarma por alto nivel en el LIC-31102 4. Alarma por bajo nivel del LIC-31103	1 Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal para la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilerón

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 5. Alta temperatura

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
29 1. Que falle en posición de abierta la válvula FV-31106, vapor al rehervidor EA-304.	1. Bajo nivel en la torre DA-301 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de gas combustible. 5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302 principal DA-304. 6. Disminución de la carga al reactor DA-302. 7. Paro de la planta	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 3. Alarma por alta presión PT-31104 en el FA-302 acumulador de reflujo. 4. Indicador de nivel local LG-3003 del fondo de la torre DA-301. 5. Alarma por alto nivel del LT-31103 del FA-302.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal en la toma de decisiones	1 (2)	4 (4)	6 (7)	D
30 2. Disminución de reflujo de la DA-301.	1. Bajo nivel en la torre DA-301 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 3. Alarma por alta presión PT-31104 en el FA-302 acumulador de reflujo. 4. Indicador de nivel local LG-	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo y predictivo a bombas. 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal en la toma de decisiones	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 5. Alta temperatura

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
	gas combustible.	3003 del fondo de la torre DA-301.						
	5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302.principal DA-304.	5. Alarma por alto nivel del LT-31103 del FA-302.						
	6. Disminución de la carga al reactor DA-302.							
	7. Paro de la planta							
31	3. Falsa señal de control de temperatura TIC-31107, plato 5 de la DA-301.	1. Bajo nivel en la torre DA-301 2. Se destila butano aumentando la presión del domo de la torre DA-301. 3. Aumento de nivel en FA-302. 4. Envío de LPG a la red de gas combustible. 5. Relevo de la válvula PSV-3018 de la DA-301 y PSV-3020 del FA-302.principal DA-304. 6. Disminución de la carga al reactor DA-302. 7. Paro de la planta	1. Alarma por alta temperatura en DA-301 TI-31107/31108. 2. Alarma por bajo nivel en la torre DA-301 LT-31102. 3. Alarma por alta presión PT-31104 en el FA-302 acumulador de reflujo. 4. Indicador de nivel local LG-3003 del fondo de la torre DA-301. 5. Alarma por alto nivel del LT-31103 del FA-302.	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal en la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilación

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga

Fecha: 21 de enero de 2003

Nodo: 2. Torre Agotadora de DME DA-301.

Diagramas: FQ-DTI-02

Producto: Butilenos, n-butano, Propano, Propileno, Isobutano, Hidrógeno

Desviación: 6. Baja temperatura

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
32 1. Falla en cerrado la válvula FV-31106.	1. Aumento de nivel y arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301 2. Daños en internos de la torre. 3. Paro de sección.	1. Alarma por alto nivel de TAL-31102 2. Indicador de nivel local LG-3003 3. Alarma por baja temperatura TIC-31107	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento del personal para la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D
33 2. Mayor reflujo por la falla de la FV-31105.	1. Aumento de nivel y arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301 2. Daños en internos de la torre. 3. Paro de sección.	1. Alarma por alto nivel de TAL-31102 2. Indicador de nivel local LG-3003 3. Alarma por baja temperatura TIC-31107	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento del personal para la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D
34 3. Falla del vapor de media presión en el rehervidor EA-304.	1. Aumento de nivel y arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301 2. Daños en internos de la torre. 3. Paro de sección.	1. Alarma por bajo flujo de vapor en el FT-31106. 2. Alarma por alto nivel de TAL-31102 3. Indicador de nivel local LG-3003 4. Alarma por baja temperatura TIC-31107	No hay.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D
35 4. Falsa señal en el TIC-31107, control de temperatura en el plato 5 de la torre DA-301.	1. Aumento de nivel y arrastre de butanos en el domo de la torre DA-301 2. Daños en internos de la torre. 3. Paro de sección.	1. Alarma por bajo flujo de vapor en el FT-31106. 2. Alarma por alto nivel de TAL-31102 3. Indicador de nivel local LG-3003 4. Alarma por baja temperatura TIC-31107	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento del personal para la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha:

Nodo: 3. Secadores de Carga FF-301A/B, 302A/B, 303A/B hasta la salida del Mezclador ME-302

Diagramas: FQ-DTI-03, FQ-DTI-04 y FQ-DTI-05

Producto: Butano, Isobutano, Butileno, Propano, Propileno, Pentenos ,Agua

Desviación: 1. Menos flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
36	1. Falla la válvula: a) Falla en posición de cerrado la válvula FV-31103 del fondo de la DA-301 b) Falla en posición de cerrado la válvula FV-31107A (propileno) c) Falla en posición de cerrado la válvula FV-31111A (butileno)	1. Alta relación de isobutano/olefinas 2. Falta de olefinas ocasionando que no exista producción de alquilado (sólo hay flujo de isobutano). 3. Disparo de las bombas GA-317A/B y GA-318 A/B 4. Alto nivel en la torre DA-301 5. Paro de planta.	1. Alarmas por bajo flujo FT-31107A, 31103 y 31111A, FI-31109 2. Alarma por baja presión en el PT-31104B	1. Continuar con el programa de mantenimiento a los lógicos de control de la planta 2. Continuar con el programa de mantenimiento a los PLC's y sistema de control distribuido de la planta 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal en la toma de decisiones.	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D
37	2. Disparo de las bombas GA-317A/B ó GA-301 A/B ó GA-318 A/B	1. Alta relación de isobutano/olefinas 2. Falta de olefinas ocasionando que no exista producción de alquilado (sólo hay flujo de isobutano) 3. Paro de planta.	1. Alarmas por bajo flujo FT-31107A, 31103 y 31111A, FI-31109 2. Alarma por baja presión en el PT-31104B	1. Continuar con el programa de mantenimiento a los lógicos de control de la planta 2. Continuar con el programa de mantenimiento a los PLC's y sistema de control distribuido de la planta 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal en la toma de decisiones.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D
38	3. Falla en posición de cerrado la válvula FV-31107B	1. Baja la relación de isobutano/olefinas 2. Disparo de las bombas GA-303 A/B 3. Baja producción de alquilado. 4. Se presenta la reacción de polimerización en lugar de la de alquilación 5. Paro de planta.	1. Alarma por bajo flujo FT-31107B y FI-31109 2. Alarma por baja presión en el PT-31104B	1. Continuar con el programa de mantenimiento a los lógicos de control de la planta 2. Continuar con el programa de mantenimiento a los PLC y al sistema de control distribuido de la planta 3. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al	1 (2)	3 (4)	4 (7)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha:

Nodo: 3. Secadores de Carga FF-301A/B, 302A/B, 303A/B hasta la salida del Mezclador ME-302

Diagramas: FQ-DTI-03, FQ-DTI-04 y FQ-DTI-05

Producto: Butano, Isobutano, Butileno, Propano, Propileno, Pentenos, Agua

Desviación: 1. Menos flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
39 4. Taponamiento en el secador FF-302 A/B.	1. Baja la relación de isobutano/olefinas 2. Relevo de las PSV's 3028 A ó B 3. Disparo de las bombas GA-303 A/B y GA-317 A/B 4. Baja producción de alquilado. 5. Se presenta la reacción de polimerización en lugar de la de alquilación 6. Paro de planta.	1. Alarma por bajo flujo FT-31107 A/B y FI-31109 2. Alarma por baja presión en el PT-31104B 3. Switch de alta presión de las bombas	1. Cumplir con el cambio de la alumina/soporte o alumina/secante de acuerdo a su vida útil. 2. Cumplir con la revisión de los internos FF-301A/B de acuerdo con el programa de reparación de la planta	1 (2)	3 (3)	4 (6)	C
40 5. Taponamiento en el secador FF-303 A/B y/o FF-301 A/B	1. Baja relación de isobutano/olefinas 2. Relevo de las PSV's 3049 A ó B y/o 3028 A/B 3. Disparo de las bombas GA-318 A/B y/o GA-317 A/B y/o GA-303 A/B 4. Baja producción de alquilado. 5. presionamiento en el asentador de ácido. 6. Formación de polimeros. 7. Paro de planta.	1. Alarma por bajo flujo FT-31111 y FI-31109, FT-31107A/B, PT-31104B 2. Switch de alta presión de las bombas 3. Válvulas de relevo de los secadores. 4. Se tiene secador de relevo	1. Cumplir con el cambio de la alumina/soporte o alumina/secante de acuerdo a su vida útil. 2. Cumplir con la revisión de los internos FF-303 A/B de acuerdo con el programa de reparación de la planta	1 (3)	4 (4)	6 (9)	D
41 6. Falla en cerrado la válvula FV-31103 (alimentación de olefinas de DME)	1. Alta relación de isobutanos/olefinas. 2. Alto nivel en la torre de la DA-301 3. Paro de la sección de	1. Directo de la válvula 2. Alarma por bajo flujo FT-31103 3. Alarma por alto nivel LIC- 4. Indicador local de nivel LG-	1. Continuar con el programa de mantenimiento preventivo a válvulas e instrumentos. 2. Continuar con la capacitación y adiestramiento al personal para la	1 (2)	4 (4)	6 (7)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha:

Nodo: 3. Secadores de Carga FF-301A/B, 302A/B, 303A/B hasta la salida del Mezclador ME-302

Diagramas: FQ-DTI-03, FQ-DTI-04 y FQ-DTI-05

Producto: Butano, Isobutano, Butileno, Propano, Propileno, Pentenos, Agua

Desviación: 1. Menos flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	Hydrisom. 4. Menos producción de alquilado	5. Alarma por baja presión PT-31104	toma de decisiones.				
42 7. Relevo de PSV'S 3039A/B y 3028 A/B	1. Baja relación de isobutano/olefinas 2. Disparo de las bombas GA-318 A/B y/o GA-317 A/B y/o GA-303 A/B 3. Baja producción de alquilado. 4. Presionamiento en el asentador de ácido. 5. Formación de polimeros. 7. Paro de planta.	1. Alarma por bajo flujo FT-31111 y FI-31109, FT-31107A/B, PT-31104B 2. Switch de alta presión de las bombas. 3. Válvulas de relevo de los secadores. 4. Se tiene secador de relevo	1. Continuar con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's. 2. Continuar con la capacitación y adiestramiento al personal	1 (3)	3 (4)	4 (9)	D



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha:

Nodo: 3. Secadores de Carga FF-301A/B, 302A/B, 303A/B hasta la salida del Mezclador ME-302

Diagramas: FQ-DTI-03, FQ-DTI-04 y FQ-DTI-05

Producto: Butano, Isobutano, Butileno, Propano, Propileno, Pentenos ,Agua

Desviación: 2. Alta composición

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
43 1. Carga con alto contenido de humedad en las corrientes de propano-propileno, butano-butileno e isobutano	1. Mayor consumo de HF	1. Se cuenta con secadora de relevo	1. Continuar con el programa de regeneración de alumina en las secadoras de acuerdo a procedimiento.	2	3	6	D
	2. Alta corrosión de líneas y equipos.	2. Analizador continuo.		(3)	(3)	(7)	
	3. Alta formación de ASA's	3. Análisis de laboratorio.	2. Continuar con el análisis de laboratorio				
	4. Alto consumo de reactivos neutralizantes.		3. Realizar y cumplir con el mantenimiento preventivo a los analizadores.				
	5. Fugas.		4. Instalación de filtros coalescedores en la entrada de carga				
	6. Incendio.		5. Realizar programa de drenado en el área de esferas.				
44 2. Alta concentración de azufre en la carga refinado, butano-butileno e isobutano	1. Mayor consumo de HF	1. Análisis de laboratorio.	1. Cumplir con la calidad del butano-butileno procedentes de las FCC I y II	1	3	4	C
	2. Alta corrosión de líneas y equipos.		2. Endulzar el isobutano procedente de la refinería de Minatitlan; Ver.	(2)	(3)	(6)	
	3. Alta formación de ASA's						
	4. Alto consumo de reactivos neutralizantes.						
	5. Fugas.						
	6. Incendio.						



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha:

Nodo: 3. Secadores de Carga FF-301A/B, 302A/B, 303A/B hasta la salida del Mezclador ME-302

Diagramas: FQ-DTI-03, FQ-DTI-04 y FQ-DTI-05

Producto: Butano, Isobutano, Butileno, Propano, Propileno, Pentenos ,Agua

Desviación: 3. No flujo

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
45 1. Taponamiento en el mezclador ME-302 (carga a la zona de reacción)	1. Paro de planta	1. Filtros tipo cónico truncado en los FF-302 A/B	1. Realizar programa de limpieza a los filtros (cada seis meses)	1 (2)	2 (2)	3 (4)	B
	2. Relevo de PSV's (3028 A/B, 3039 A/B y 3049 A/B)	2. Relevo de PSV's (3028 A/B, 3039 A/B y 3049 A/B)	2. Continuar cumpliendo con el programa de mantenimiento y calibración de PSV's.				
	3. Disparo de bombas (GA-303 A/B, 317 A/B y 318 A/B)	3. Protección de las bombas por alta presión PSH	3. Programa preventivo a circuito de protecciones de las bombas.				
	4. Alto nivel de la torre de la DA-301	4. Alarmas por bajo flujo FT-31107A, 31103 y 31111A, FI-31109	4. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal en la toma de decisiones.				
	5. Paro de la sección Hydrisom.	5. Alarma por baja presión en el PT-31104B					
46 2. Válvula manual cerrada a la salida del FF-302	1. Paro de planta	1. Relevo de PSV's (3028 A/B, 3039 A/B y 3049 A/B)	1. Continuar con el programa de capacitación y adiestramiento al personal	1 (2)	2 (2)	3 (4)	B
	2. Relevo de PSV's (3028 A/B, 3039 A/B y 3049 A/B)	2. Protección de las bombas por alta presión PSH	2. Automatizar el sistema de cambio de las secadoras en las etapas de regeneración.				
	3. Disparo de bombas (GA-303 A/B, 317 A/B y 318 A/B)	3. Alarmas por bajo flujo FT-31107A, 31103 y 31111A, FI-31109					
	4. Alto nivel de la torre de la DA-301	4. Alarma por baja presión en el PT-31104B					
	5. Paro de la sección Hydrisom.	5. Se aplica el procedimiento para cambio de secador en forma manual					



Planta: Alquilación.

Circuito: Circuito de Pretratamiento de Carga.

Fecha:

Nodo: 4. Regeneración de Secadoras

Diagramas: FQ-DTI-03, FQ-DTI-04 y FQ-DTI-05

Producto: Butano, Isobutano, Butileno, Propano, Agua, N-butano, Propileno.

Desviación: 1. Alta presión

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
47 1. El procedimiento de regeneración del manual de operación propuesto por el licenciador no es el adecuado.	1. Alto nivel en el tanque FA-306, 305 y 317 2. Relevo de PSV's (3026, 3037 y 3047) 3. Desfogue de líquidos a cabezal 4. Fuga e incendio 5. Si coincide con el relevo de las PSV's de la fraccionadora DA-304 con líquido caliente puede ocasionar una fractura del cabezal y un incendio.	1. Relevo de PSV's (3026, 3037 y 3047) 2. Indicadores de presión locales (PI-3022, 3033 y 3043) 3. Indicadores de nivel locales (LG-307, 309 y 308)	1. Modificar, difundir y aplicar el procedimiento de regeneración de secadoras del manual de operación. 2. Solicitar la modificación al cambio para automatizar la regeneración a las secadoras (FF-301, 302 y 303). 3. Terminar con la instrumentación de los recipientes FA-305, 306 y 317, hacia el sistema de control distribuido.	1 (1)	2 (2)	3 (3)	A



2.5 ÁRBOL DE FALLAS

DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El paso inicial en la generación del árbol, es la selección del evento tope, el cual se obtiene de los resultados de las técnicas anteriores (principalmente del HazOp)

En el nodo # 4 del análisis HazOp, aplicando la desviación de “alta presión”, se obtuvo un riesgo clase A, que tiene como causa: *el procedimiento para la regeneración de los secadores (FF-301 A/B, 302 A/B y 303 A/B), del manual de operación propuesto por el licenciador, no es el adecuado.* Por tal motivo se aplica esta técnica para descubrir las causas básicas que pueden originar la desviación señalada anteriormente.

Para estudiar el sistema de regeneración de los secadores –que en los tres pares de secadores es el mismo- se seleccionara el sistema de los secadores FF-302 A/B como los representativos. Estos secadores son los que manejan la mayor cantidad de sustancias peligrosas y son la última operación unitaria realizada en la sección de pretratamiento. Para ver la descripción del escenario ver la tabla 2.5.1

TABLA 2.5.1 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO DE SOBREPRESIÓN DEL CIRCUITO DE REGENERACIÓN DE LOS SECADORES FF-302A/B	
ETAPA	DESCRIPCIÓN
EVENTO TOPE	Sobrepresión en el circuito de regeneración del secador FF-302A (en regeneración).
CAUSA / FUNDAMENTO	Las causas inmediatas que dan origen a la sobrepresión son dos: la falla de las PSV's (3039A, 3038, y 3037) y un incremento súbito de la presión. El incremento de la presión puede deberse ya sea por un aumento en cantidad de olefinas/isobutano al circuito de regeneración (al alinear un secador para ser regenerado requiere de abrir y cerrar válvulas manuales) o por un aumento en el calentamiento de la corriente de olefinas/isobutano que se utiliza para regenerar los secadores (falla del arreglo de la TV-31110).
CONSECUENCIAS	El sobrepresionamiento del circuito puede ocasionar fugas por bridas o por el vidrio de nivel del acumulador (LG-3009) y si la mezcla está a la temperatura de autoignición se espera un incendio, ya sea en forma de Jet Fire o de Flash Fire, lo mismo suceso puede ser originado por la ruptura del sello de la bomba GA-305. Las consecuencias posibles y posteriores se deberán a la proximidad de los tanques de reflujo de los restantes secadores, los cuales al ser expuestos al calentamiento, provocarían que haya un aumento en la presión del acumulador o en los circuitos correspondientes que pueden culminar en una explosión BLEVE.



DIAGRAMAS DE ÁRBOL DE FALLAS

Primero se construye el Árboles de Fallas considerando todas las posibles causas que pudieran llevar al evento tope, después del tratamiento mediante conjuntos mínimos se construye el árbol de fallas reducido, y éste es equivalente al primero, sólo se diferencia en que de éste se han eliminado las causas de falla común. La tabla 2.5.2 muestra los diagramas representativos de cada uno de los Árboles de Fallas descritos anteriormente (apéndice H).

TABLA 2.5.2 RELACIÓN DE DIAGRAMAS DE ÁRBOL DE FALLAS	
DIAGRAMA NÚMERO	NOMBRE
FQ-AF-01A	Sobrepresión del circuito de regeneración del secador FF-302A (sin reducir).
FQ-AF-01B	Sobrepresión del circuito de regeneración del secador FF-302A (reducido).

ESTIMACIÓN CUANTITATIVA DEL ÁRBOL DE FALLAS

Se describen los pasos del desarrollo del Árboles de Fallas mediante la formación de conjuntos de separación y finalmente llegar a la formación de conjuntos mínimos (ver tabla 2.5.3).

TABLA 2.5.3 DE EXPRESIÓN BOOLEANA DE LA FORMACIÓN DE LOS CONJUNTOS MÍNIMOS

$$T = M1 * M2$$

Aplicando el álgebra booleana se tiene:

$$T = (B1 + B2 + B3) * (B4 + B5 + B6 + B7 + B8 + \underline{B9} + B10 + B11 + B12 + \underline{B13} + \underline{B14} + \underline{B15} + \underline{B9} + \underline{B13} + \underline{B14} + \underline{B15})^1$$

La ecuación siguiente representa lógica y matemáticamente el árbol de fallas para la sobrepresión del circuito de regeneración de los secadores FF-302 A/B

$$T = (B1*B4) + (B1*B5) + (B1*B6) + (B1*B7) + (B1*B8) + (B1*B9) + (B1*B10) + (B1*B11) + (B1*B12) + (B1*B13) + (B1*B14) + (B1*B15) + (B2*B4) + (B2*B5) + (B2*B6) + (B2*B7) + (B2*B8) + (B2*B9) + (B2*B10) + (B2*B11) + (B2*B12) + (B2*B13) + (B2*B14) + (B2*B15) + (B3*B4) + (B3*B5) + (B3*B6) + (B3*B7) + (B3*B8) + (B3*B9) + (B3*B10) + (B3*B11) + (B3*B12) + (B3*B13) + (B3*B14) + (B3*B15)^2$$

¹ Los eventos resaltados con negritas son eventos repetidos

² Los eventos repetidos solo se consideran una sola vez en el desarrollo de la ecuación



TABLA 5.2.4 EVENTOS BÁSICOS CON SUS PROBABILIDADES

EVENTO BÁSICO	PROBABILIDAD*
B1 - Partes defectuosas o inadecuadas.	1.00E-03
B2 - Mala calibración y prueba.	1.00E-03
B3 - Falta de refaccionamiento.	1.00E-01
B4 - Cerrada válvula V-3	1.00E-01
B5 - No flujo de agua de enfriamiento.	1.00E-05
B6 - Cerrada válvula de entrada de agua de enfriamiento.	1.00E-03
B7 - Cerrada válvula de salida de agua de enfriamiento	1.00E-03
B8 - Abierta válvula V-2 de entrada o salida del secador de Regeneración.	1.00E-01
B9 - Abierto el directo de la válvula TV-31116	1.00E-05
B10 - Abierto el directo de la válvula FV-31110	1.00E-05
B11 - Válvula calzada.	1.00E-03
B12 - Falla de aire instrumentos.	1.00E-05
B13 - Tarjeta dañada.	1.00E-05
B14 - Mala calibración del controlador	1.00E-01
B15 - Mantenimiento inadecuado.	1.00E-03

*Nota: Valores dados por ingenieros de proceso y analistas

TABLA 5.2.5 CÁLCULO DE PROBABILIDADES, PROBABILIDAD TOTAL, FRECUENCIA DEL EVENTO TOPE Y PORCENTAJE DE OCURRENCIA DE CADA CONJUNTO MÍNIMO.

CONJUNTO MÍNIMO	PORCENTAJE OCURRENCIA	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA (%)
B1*B4	1.00E-04	3.22E-03
B1*B5	1.00E-08	3.22E-07
B1*B6	1.00E-06	3.22E-05
B1*B7	1.00E-06	3.22E-05
B1*B8	1.00E-04	3.22E-03
B1*B9	1.00E-08	3.22E-07
B1*B10	1.00E-08	3.22E-07
B1*B11	1.00E-06	3.22E-05
B1*B12	1.00E-08	3.22E-07
B1*B13	1.00E-08	3.22E-07
B1*B14	1.00E-04	3.22E-03
B1*B15	1.00E-06	3.22E-05
B2*B4	1.00E-04	3.22E-03
B2*B5	1.00E-08	3.22E-07
B2*B6	1.00E-06	3.22E-05
B2*B7	1.00E-06	3.22E-05
B2*B8	1.00E-04	3.22E-03
B2*B9	1.00E-08	3.22E-07



B2*B10	1.00E-08	3.22E-07
B2*B11	1.00E-06	3.22E-05
B2*B12	1.00E-08	3.22E-07
B2*B13	1.00E-08	3.22E-07
B2*B14	1.00E-04	3.22E-03
B2*B15	1.00E-06	3.22E-05
B3*B4	1.00E-02	3.22E-01
B3*B5	1.00E-06	3.22E-05
B3*B6	1.00E-04	3.22E-03
B3*B7	1.00E-04	3.22E-03
B3*B8	1.00E-02	3.22E-01
B3*B9	1.00E-06	3.22E-05
B3*B10	1.00E-06	3.22E-05
B3*B11	1.00E-04	3.22E-03
B3*B12	1.00E-06	3.22E-05
B3*B13	1.00E-06	3.22E-05
B3*B14	1.00E-02	3.22E-01
B3*B15	1.00E-04	3.22E-03
TOTAL	3.100E-02	100
Probabilidad de ocurrencia del evento culminante = $\sum_{i=1}^{36} = 3.100 \times 10^{-2}$		
Frecuencia de ocurrencia del evento culminante = 3.1504×10^{-2} por año.		



2.6 ÁRBOL DE SUCESOS

IDENTIFICACIÓN DEL SUCESO INICIADOR

El suceso iniciador del Árbol de Sucesos está dado por los resultados arrojados por el HazOp – de manera indirecta- y posteriormente desarrollado en el Árbol de Fallas, para encontrar las causas básicas que lo originan.

Descripción del suceso iniciador

Los Secadores de Carga al ser alineados para ser regenerados, permiten el paso de mezcla de la corriente de proceso (que trabaja a 16 Kg/cm²), al circuito de regeneración (que trabaja a 7.1 Kg/cm²), dando como resultado una alta presión en el circuito y un aumento en el nivel de un 30% en volumen (recomendado en el manual de operación) a un 80 ó 90% en volumen, lo cual combinado con una serie de fallas en el circuito puede generar el incidente siguiente:

Fuga por el vidrio de nivel, los sellos de las bombas de alimentación de la corriente de regeneración, por las bridas de unión de las tuberías con los equipo (en especial en la de los secadores) o por las PSV's, debido a una sobrepresión del circuito de carga.

IDENTIFICACIÓN DE LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD O FACTORES DE PROMOCIÓN DEL PELIGRO.

Funciones de seguridad

Las protecciones con las que cuenta la instalación son las siguientes:

- PSV's en cada uno de los equipos (excepto las bombas y el condensador)
- Medidores de temperatura locales y de cuarto de control en las entradas y salidas de los secadores
- Medidores de presión en la descarga de las bombas
- Medidor de flujo en la tubería de unión de las descargas de las bombas
- Medidor de temperatura y controlador de flujo en el sistema de calentamiento
- Medidores de nivel locales tanto en la bota como el cuerpo del separador de carga.



- Detectores de gas butano

Factores de promoción del peligro

- Falta de automatización en el sistema de alineamiento de los secadores a regeneración.
- Falta de un sistema de desahogo en el separador de carga
- Falta de instrumentación a cuarto de control
- Falta de un procedimiento de emergencia para el caso de sobrellenado del acumulador.

CONSTRUCCION DEL ÁRBOL DE SUCESOS.

La construcción del árbol de sucesos se basa tanto en el plano FQ-DTI-04 y en la tabla de peligros del apéndice H, así como en las HDS de las sustancias consideradas como peligrosas (ver el apéndice F), con lo cual se sigue la secuencia al suceso iniciador.

La técnica se aplicara para dos situaciones que se tienen. En la primera la construcción se basara en el análisis de las funciones de seguridad que tiene la planta y en el segundo se determinaran los posibles escenarios que tendrían las consecuencias. La tabla 2.6.1 siguiente muestra los diagramas representativos de cada uno de los Árboles de Sucesos descritos anteriormente.

TABLA 2.6.1 RELACIÓN DE DIAGRAMAS DE ÁRBOL DE SUCESOS	
DIAGRAMA NÚMERO	NOMBRE
FQ-AS-01A	Evaluación de las funciones de seguridad debido a: Fugas por sobrepresión en el circuito de regeneración de los secadores FF-302 (pre-accidente)
FQ-AS-01B	Evaluación de los posibles escenario para el evento siguiente: Fugas por sobrepresión en el circuito de regeneración de los secadores FF-302 (post-accidente)

Ver apéndice H

Para el Árbol de Sucesos del accidente es necesario considerar lo siguiente:

- No se considerara el sistema contra incendio, ya que es un sistema de mitigación y no de prevención.



- El suceso iniciador se considera como el evento tope por el cual se inicia el accidente.
- No se conocen valores de probabilidad de ocurrencia de los escenarios (post accidente), por lo que se tomaran los resultados de manera cualitativa.

La descripción del escenario se puede ver en la tabla 2.6.2

ETAPA	DESCRIPCIÓN
ESCENARIO	La fuga de la mezcla de sustancias altamente inflamables se puede producir en bridas, sellos de bombas ,vidrio de nivel o en PSV's
PROTECCIONES Y PROMOCIONES	<p>Las pérdidas de mezcla en el circuito son generadas por un incremento en la cantidad de materia en el circuito y por algún fallo de los equipos o instrumentos</p> <p>Las funciones de seguridad que se activarían en el instante en que se presenta el evento, son realmente muy pocos, he aquí algunos: válvulas de relevo en distintos puntos del circuito, medidores de temperatura a cuarto de control y paro automático del sistema de bombeo, etc.</p> <p>Las funciones de propagación del accidente son la electricidad estática, corto circuito en los motores de bombas cercanos o superficies calientes como los intercambiadores de calor de los circuitos de regeneración, que manejan vapor de alta, etc.</p>
CONSECUENCIAS	<p>Si la mezcla está a la temperatura de autoignición se espera un incendio, ya sea en forma de Jet Fire o de Flash Fire (como los más posibles en teoría). Pero si la mezcla no se encuentra a ésta temperatura, entonces se generará una dispersión de la mezcla en forma de nube que al encontrar un punto de ignición se incendiará y posteriormente explotar (Flash Fire-UVCE).</p> <p>Las consecuencias posibles y posteriores se deberán a la proximidad de los otros circuitos de regeneración de los restantes secadores, los cuales al ser expuestos al calentamiento, provocarían que haya un aumento en la presión del acumulador o en los circuitos correspondientes que pueden culminar en una explosión BLEVE.</p>



ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD

TABLA 2.6.3 PROCEDIMIENTO PARA LA ESTIMACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE FALLA DE LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD

La probabilidad de la primera combinación de sucesos es la siguiente:

$$P(ABCDE) = p(A) \times p_A(B) \times p(C) \times p(D) \times p(E) \times p(A)$$

La probabilidad de la segunda combinación de sucesos es la siguiente

$$P(ABDE) = p(A) \times p(B) \times p(D) \times p(E) \times p(A)$$

De donde:

$p_A(B)$ es la probabilidad de acierto

$p(X)_{X=A,B,C,D,E}$ es la probabilidad de fallo

La probabilidad de que acontezca la fuga es de:

$$P_T = P(ABCDE) + P(ABDE)$$

$$P(ABCDE) = 0.031 \times 0.9 \times 0.2 \times 0.1 \times 0.3 = 1.67 \times 10^{-4}$$

$$P(ABDE) = 0.031 \times 0.1 \times 0.1 \times 0.3 = 9.3 \times 10^{-5}$$

$$P_T = 1.67 \times 10^{-4} + 9.3 \times 10^{-5} = 2.6 \times 10^{-4}$$

En lo referente al escenario del accidente se establece que a partir del desarrollo del árbol de sucesos del post-accidente (plano FQ-AS-01B) los tres escenarios más posibles son:

- **Jet Fire.** Debido a que este se presenta cuando hay una ignición instantánea de un chorro turbulento de gas, como un soplete.
- **Flash Fire.** Debido a que este se presenta cuando no hay una ignición instantánea, pero si hay una dispersión de vapores (más densos que el aire) a ras de suelo hasta un punto de ignición cercano
- **UVCE.** Debido que la mezcla es más densa que el aire y no hay viento se produce una nube de vapores inflamables que al acercarse a un punto de ignición puede desencadenar una detonación o una deflagración dependiendo de la velocidad de combustión de la mezcla.



2.7 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Para llevar a cabo este análisis se requiere de la información hasta ahora generada, la cual consiste en lo siguiente:

SELECCIÓN DEL EVENTO

El evento seleccionado es aquel que se detecto en la técnica HazOp como de clase A, que presento una desviación de alta presión en el circuito de regeneración, obteniendo una frecuencia de 3.1504×10^{-2} eventos/año y que aun con las protecciones se obtuvo un valor de 2.6×10^{-4} eventos/año, que todavía sigue siendo socialmente inaceptable.

ESPECIFICACIÓN DEL ESCENARIO

Como ya se dijo el aumento de la cantidad de materia en el circuito cerrado de regeneración, aunado con una falla de los sistemas de seguridad del mismo, puede generar la sobrepresión del sistema dando así los siguientes escenarios:

Al momento en que los operadores alinean al secador FF-302 A para su regeneración, uno de ellos se olvida de cerrar la válvula de la línea de entrada de carga al secador y abre la válvula de salida del secador al sistema de regeneración, con lo cual cierta cantidad de carga es pasada al circuito generando un sobrellenado en el acumulador (que de por sí, se encuentra a un nivel del 90% de su capacidad), debido a que la corriente de entrada trabaja a $16 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$ y el acumulador trabaja a $7.1 \text{ kg}_f/\text{cm}^2$.

El sobrellenado generado por este evento no es suficiente para presionar el sistema a tal grado que logre dañar el acumulador o relevar la válvula de seguridad del tanque, pero es lo suficiente para dañar el vidrio del medidor de nivel (LG-3009). Esto ocasiona que cierta cantidad de la sustancia inflamable se escape al ambiente ocasionando una nube de vapores en busca de un punto de ignición para prenderse y causar daños, que de manera potencial pueden desencadenar otros eventos indeseables.



Datos meteorológicos

- La velocidad del viento es de 1.5 m/s
- La estabilidad del viento es F (night with moderate clouds and light/ moderate wind)
- La temperatura ambiente es de 28 °C

Tiempo de respuesta

- El tiempo de respuesta por parte de los equipos de emergencia es de 10 min

Condiciones operacionales del Acumulador

- El nivel del tanque es de 80-90 % en volumen
- La presión de trabajo es de 7.1 kg_f/cm²
- La temperatura de trabajo es de 38°C
- La composición de la mezcla de hidrocarburos es la siguiente:

SUSTANCIA	COMPOSICIÓN (%)
Etano	0.053
Propileno	17.4
Propano	2.29
Isobutano	47.22
Butileno	18.08
n-butano	14.12
Pentanos	0.83

Características físicas del evento

- La altura de la descarga se encuentra en 1 m
- El orificio de descarga es de 19 mm
- La dirección de la descarga es horizontal
- El tipo de evento desarrollado es una fuga bifásica de gases licuables inflamables.
- La cantidad de material descargado es de 5000 Kg
- Los puntos de ignición son: bombas, superficies calientes y chispas de autos que se encuentran de 10 a 30 m de distancia en función de el punto de descarga



Sustancias

Las características físicas y químicas de las sustancias se pueden ver en el apéndice F

PARÁMETROS DE AFECTACIÓN

Los parámetros de niveles de radiación y temperatura que el simulador PHAST nos pide para calcular los escenarios de los modelos seleccionados se muestran continuación en la tabla 1.3.2 y 1.3.3

FUGA DE LA MEZCLA INFLAMABLE POR EL VIDRIO DE NIVEL LG-3009

TABLA 2.7.1 ARACTERÍSTICAS DE LA DESCARGA	
PARÁMETROS	VALOR
Fracción del líquido	0.64
Temperatura final	-25.27 °C
Velocidad final	166.8 m/s
Flujo masico	4.596 Kg/s
Duración de la descarga	600 s
Velocidad del orificio	50.78 m/s
Presión de salida	1.01 bar
Temperatura de salida	37.59 °C
Coefficiente de descarga	0.6
Radio de expansión	0.03 m



DISPERSIÓN DE LA NUBE

TABLA 2.7.2 CARACTERÍSTICAS DE LA DISPERSIÓN A TIEMPO VARIABLE *

Distancia a ras de suelo (m)	Altura (m)	Concentración (ppm)	Mitad del ancho de la pluma (m)	Profundidad total de la pluma	Fracción del líquido	Tiempo (s)	Densidad de la nube (Kg/m ³)
0.00	1.00	1000000	0.03	0.18	0.64	0.00	7.57
0.00	1.00	1000000	0.03	0.18	0.64	0.00	7.57
0.10	1.00	922547.81	0.04	0.21	0.62	0.00	6.00
0.30	1.00	782283.01	0.05	0.27	0.57	0.00	4.44
0.70	1.00	573255.14	0.07	0.38	0.47	0.01	3.18
1.50	1.00	348602.60	0.13	0.63	0.29	0.01	2.34
3.10	1.00	180608.84	0.31	1.22	0.05	0.04	1.80
4.70	0.99	117002.71	0.72	1.95	0.02	0.08	1.55
7.90	0.97	65202.80	1.72	2.73	0.01	0.20	1.38
9.50	0.94	52612.43	2.53	3.19	0.00	0.29	1.35
10.3	0.93	47939.12	2.86	3.44	0.00	0.34	1.34
11.10	0.91	44316.14	3.18	3.69	0.00	0.39	1.33
11.90	0.89	41354.54	3.49	3.58	0.00	0.46	1.32
13.5	0.87	36743.73	4.12	4.47	0.00	0.59	1.31
15.10	0.84	33.263.86	4.87	4.87	0.00	0.75	1.30
18.30	0.79	28.248.18	6.59	5.44	0.00	1.13	1.29
21.50	0.71	24742.86	8.62	5.88	0.00	1.59	1.28
24.70	0.62	22121.67	10.94	6.26	0.00	2.14	1.27
27.89	0.50	20075.53	13.53	6.65	0.00	2.77	1.27
31.09	0.35	18429.70	16.39	7.06	0.00	3.50	1.26
34.29	0.17	17075.41	19.52	7.49	0.00	4.32	1.26
37.48	0.00	15938.36	22.89	7.89	0.00	5.23	1.25
40.68	0.00	15041.92	26.53	7.94	0.00	6.23	1.25
47.08	0.00	13510.67	33.49	8.03	0.00	8.53	1.25
53.48	0.00	12258.62	43.81	8.15	0.00	11.25	1.24
66.28	0.00	10359.35	65.72	8.37	0.00	18.00	1.24
79.08	0.00	9020.30	91.97	8.46	0.00	26.68	1.23
91.88	0.00	8059.00	121.07	8.50	0.00	37.29	1.23
104.68	0.00	7363.36	151.61	8.48	0.00	49.73	1.22
117.48	0.00	6848.56	182.57	8.42	0.00	63.82	1.22
130.28	0.00	6288.3	211.35	8.59	0.00	79.40	1.22
143.08	0.00	5566.02	236.5	9.10	0.00	96.21	1.22

Nota: El Límite Superior de Inflamabilidad (LSI), con concentración de 0.09145 en fracción se presenta a una distancia de 6.279 m en un tiempo de 0.1358 s

El Límite Inferior de Inflamabilidad (LII), con concentración de 0.01756 en fracción se presenta a una distancia de 33.13 m, en un tiempo de 4.024 s

* Cálculo de la dispersión de la mezcla en el ambiente para las condiciones meteorológicas de 1.5 m/s de velocidad del viento y una estabilidad ambiental F (1.5/F)



JET FIRE

PARÁMETRO	VALOR
Poder emisor de la flama	289.90 KW/m ²
Radio de expansión	0.06 m
Velocidad del jet	166.8 m/s
Longitud de la flama	31.07 m
Radio máximo de la flama	1.93 m

* Para un tiempo de exposición de 20 s

PARÁMETRO	NIVELES DE RADIACIÓN (KW/m ²)		
	1.4	5	12.5
Total de radiación recibida	28.00 KJ/m ²	100.00 KJ/m ²	250.00 KJ/m ²
Distancia a nivel de piso	29.33 m	20.67 m	17.72 m
Distancia a elevación	63.18 m	33.46 m	20.32 m
Razón de equilibrio	0.56	0.77	0.90
Distancia efectiva	45.83 m	36.66 m	33.59 m
Área	5820.93 m ²	2172.48 m ²	1131.48 m ²

EXPLOSIÓN UVCE

DISTANCIA DE LA NUBE (m)	CENTRO DE LA EXPLOSIÓN (m)	PUNTO DE IGNICIÓN (m)	EFECTO EXPLOSIVO (bar)			MASA INFLAMABLE (KG)	TIEMPO (S)
			0.02	0.13	0.2		
10	10	10	31.35	23.00	18.19	0.89	0.32
20	20	20	54.11	40.77	33.09	3.64	1.38
30	30	30	70.21	54.48	45.43	5.96	3.26
40	40	40	80.88	64.89	55.69	6.26	6.02
50	50	50	90.88	74.89	65.69	6.26	9.77
60	60	60	100.88	84.89	75.69	6.26	14.69
70	70	70	110.88	94.89	85.69	6.26	20.52
80	80	80	120.88	104.89	95.69	6.26	27.45

**MÉTODO PROBIT****RADIACIÓN**

Por medio de las ecuaciones del apartado 1.4.4 se obtiene el número de víctimas para cada caso.

VALORES OBTENIDOS PARA 20 s DE DESCARGA								
VALORES DE RADIACIÓN	QUEMADURAS MORTALES CON PROTECCIÓN	% DE VICTIMAS	QUEMADURAS MORALES SIN PROTECCIÓN	% DE VICTIMAS	QUEMADURAS DE 2º GRADO	% DE VICTIMAS	QUEMADURAS DE 1º GRADO	% DE VICTIMAS
1400	-4.83	0.00	-3.98	0.00	-4.94	0.00	-1.63	0.00
5000	-0.49	0.00	0.36	0.30	0.19	0.10	3.49	8.00
12500	2.64	1.00	3.49	6.00	3.87	9.00	7.18	98.00

VALORES OBTENIDOS PARA 300 s DE DESCARGA								
VALORES DE RADIACIÓN	QUEMADURAS MORTALES CON PROTECCIÓN	% DE VICTIMAS	QUEMADURAS MORALES SIN PROTECCIÓN	% DE VICTIMAS	QUEMADURAS DE 2º GRADO	% DE VICTIMAS	QUEMADURAS DE 1º GRADO	% DE VICTIMAS
1400	2.10	1.00	2.95	2.00	3.24	4.00	6.54	94.00
5000	6.44	90.00	7.29	99.00	8.36	100.00	11.67	100.00
12500	9.57	100.00	10.42	100.00	12.05	100.00	15.36	100.00

SOBREPRESIÓN

Por medio de las ecuaciones del apartado 1.4.4 se obtiene el número de víctimas para cada caso

VALORES OBTENIDOS PARA 27.45 s DE DESCARGA								
VALORES DE SOBREPRESIÓN (N/m ²)	MUERTE POR LESIONES PULMONARES	% DE VICTIMA	ROTURA DE TIMPANO	% DE VICTIMA	MUERTE POR IMPACTO DEL CUERPO	% DE VICTIMA.	LESIONES POR IMPACTO DEL CUERPO	% DE VICTIMA
2447	-23.18	0.00	-0.54	0.00	7.47	99.30	10.36	100.00
13894	-11.18	0.00	2.81	2.00	15.84	100.00	18.09	100.00
23790	-7.47	0.00	3.85	13.00	18.44	100.00	20.48	100.00



ESTIMACIÓN DE LAS PÉRDIDAS MATERIALES EN LAS INSTALACIONES

Los equipos que pueden resultar dañados por radiación (zona de riesgo; 12.5 KW/m²) u ondas de sobrepresión (zona de riesgo; 2 bar), se muestran en la tabla siguiente.

RELACIÓN DE EQUIPOS DAÑADOS COMO CONSECUENCIA DEL ACCIDENTE		
EQUIPOS	NÚMERO DE SEÑALIZACIÓN	COSTO DLLs
BOMBAS (GA)	302 A/B, 304 A/B, 305 A/B, 310 A/B, 316 A/B, 330 A/B, 333 A/B	10,879,125
INTERCAMBIADORES DE CALOR (EA)	301 A/E, 302, 305, 306, 308, 309, 310, 318 C/F, 323, 331, 332, 340	16,004,808
ACUMULADORES DE CARGA (FA)	302, 305, 306, 309, 310, 317, 360	50,651,626
SECADORES (FF)	301 A/B, 302 A/B, 303 A/B	

Por lo tanto, las pérdidas que se tendrán por daño a las instalaciones se valúa en 77,535,559 Dlls, sin considerar, los costos del producto quemado, pago de indemnizaciones, entre otras.

ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Utilizando la frecuencia del evento encontrado en la aplicación de la técnica *Árbol de Fallas* y la cuantificación de los daños encontrada en el *Análisis de Consecuencias*, tendremos que el riesgo de la sección de pretratamiento es:

Frecuencia del evento = 3.1504×10^{-2} (evento/año)

Magnitud de los daños = 77, 535 , 559 (Dlls/evento)

Riesgo = frecuencia del evento x magnitud de sus consecuencias

$$= 3.1504 \times 10^{-2} (\text{evento/año}) \times 77,535,559 (\text{Dlls/evento}) = 2,326,067 \text{ Dlls/año}$$



CAPÍTULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 ANÁLISIS HISTÓRICO DE ACCIDENTES

Debido a que la consulta de las bases de datos fue hecha de manera indirecta, la confiabilidad de los datos reportados aquí, tienen que ser considerados de manera objetiva, es decir, no deben ser considerados como una representación fiel de las bases, aunque si cumplen con la idea general de señalar las áreas críticas. Además podemos señalar que estos datos son generales, es decir, no se separan los distintos ramos de la Industria Química, lo que dificulta su uso.

En la base de datos MARS se establece que el área de proceso en la instalación industrial, es donde ocurren la mayor cantidad de accidentes mayores, los cuales son generados principalmente por fallos de equipo (mecánicos principalmente) y/o errores humanos, con un aproximado del 80% de las ocasiones.

Los equipos que presentan la mayor participación en accidentes son: el reactor, la torre de destilación y los secadores, con un aproximado del 70% de las ocasiones.

En la base de datos MHIDAS se señala que las líneas de proceso son también una fuente importante de accidentes y nuevamente los fallos mecánicos y errores humanos son las principales causas.

En lo referente a la cantidad de sustancias peligrosas que maneja la instalación es varias veces superior a la cantidad de reporte y que todos los equipos cuentan con ella en menor o mayor medida. Además de que las sustancias cuentan con grados de riesgo de inflamabilidad 3 ó 4.



También podemos señalar que la mayor cantidad de accidentes de incendio en esta rama de la industria se genera por derrame o escape de sustancias inflamables y que las explosiones se deben a reacciones descontroladas.

Así los resultados se pueden interpretar de la manera siguiente: en toda área de proceso en donde se lleven a cabo operaciones en las cuales esté involucrado de manera directa el trabajador (de manera directa me refiero a aquel proceso no está automatizado), en el cual un error humano pueda provocar una falla mecánica en los equipos, debido a que fue usado de manera indebida, originando algún fallo en el sitio que se encuentra menos protegido, como lo son las líneas de proceso.

Por lo tanto, podemos señalar que las unidades que se deben de analizar con mayor detalle son: el reactor Hydrisom, la torre de destilación y los secadores de carga.

3.2 ÍNDICE DOW DE FUEGO Y EXPLOSIÓN

TABLA DE RESULTADOS									
UNIDAD DE PROCESO	MATERIAL PRINCIPAL	FACTOR MATERIAL FM	IF&E	VALOR DEL ÁREA EXPUESTA SMM	DBMPP SMM	DRMPP SMM	DÍAS FUERA DE OPERACIÓN	PÉRDIDA POR INTERRUPCIÓN DE NEGOCIOS SMM	ÁREA AFECTADA (m ²)
DC-301	Butileno	16	83.5	15.360	8.500	2.839	30	1.258	1435.5
DA-301	Isobutano	16	100.2	14.380	9.350	3.123	34	1.385	2067.12
FF-302 A/B SECC. DE REGENERACIÓN	Isobutano	16	97	19.270	12.140	4.115	50	1.523	1937.2

Abreviaturas:

IF&E Índice de Fuego y Explosión
 DBMPP Daño Base Máximo Probable a la Propiedad
 DRMPP Daño Real Máximo Probable a la Propiedad

Al establecer el grado de peligro de incendio o explosión observamos que el valor del reactor es moderado y, el de la torre de destilación y la del circuito de regeneración de las secadoras es intermedio (Ver tabla 2.3.1).

Pero, al comparar las pérdidas generadas, económicamente hablando, se puede observar que los secadores de carga tienen días perdidos y costos más elevados que las otras dos operaciones, que a primera instancia nos parecen más peligrosas y más inestables en su operación, esta diferencia se debe a las penalizaciones que se obtienen por la falta de funciones de seguridad que permitan prevenir



o mitigar algún accidente. Así, el análisis de la sección aplicando esta técnica señala que los secadores son los equipos que tienen que ser más estudiados, con el fin de establecer accidentes potenciales pudieran ocurrir que a simple vista no se logren vislumbrar o por si lo contrario, que realmente este análisis fue exagerado y los equipos no requieren ningún cambio real para su funcionamiento adecuado y seguro.

3.3 ANÁLISIS HAZOP

En el Nodo 4 -sistema de regeneración de secadoras- se muestra que la desviación que se produce es la alta presión en el circuito, esto se debe a que: *el procedimiento de regeneración del manual de operación propuesto por el licenciador no es el adecuado*. Esta desviación de la condición normal de presión tiene como consecuencias el alto nivel del tanque acumulador, relevo de PSV's, posibles fugas y un incendio, pero además se señala que si el relevo de las PSV's de este circuito coinciden con el relevo de las PSV's de la fraccionadora principal (DA-304) puede darse un efecto sinérgico que causaría la fractura del cabezal de desfogue, fugas e incendio en la mayor parte de la planta. Todo esto provoca que el riesgo encontrado sea de clase A, es decir que requiere acciones inmediatas.

En el resultado obtenido podemos ver que los secadores de carga de olefinas e isobutano son las que al parecer (en opinión de los ingenieros de la planta), son los que provocan el riesgo más potencial, ya que no cuentan con una automatización adecuada que impida las consecuencias señaladas.

A la falta de control adecuado (la alineación de los secadores se hace manualmente) y a que se trata de un circuito cerrado, el acumulador de carga del circuito sufre de alto nivel. Esta acumulación de masa hace que los operarios tomen acciones indebidas que culminarían en los efectos señalados como consecuencias.

En el nodo 3 se establece la probabilidad del taponamiento del mezclador y de una válvula manual, que puede ser debido a que la alúmina este en malas condiciones para operar como se debe.

La frecuencia del evento del nodo 3 es de 2, con protecciones por lo que pasa en ocasiones. Esta frecuencia se presenta sobre todo en el taponamiento del mezclador ocasionaría no un paro de sección como se dice en las consecuencias, sino que obligaría a parar la planta ya que no se tendría



flujo de olefinas a los reactores. Y en otro caso solo podría aplicarse si las dos válvulas manuales de salida (una de cada uno) fueran taponadas.

El desprendimiento de alúmina de la cama de secado en el equipo es un fenómeno raro, aunque si se lograra producir, la cantidad desprendida se contabilizaría en ppm (según los Ingenieros de la planta). Por lo que clasificar a este evento en clase B es una exageración y/o una mala aplicación de la técnica

3.4 ÁRBOL DE FALLAS

Los resultados para el árbol de falla son los siguientes: una probabilidad 3.10×10^{-2} y una frecuencia de 3.1504×10^{-2} al año. Si se expresa la probabilidad de este evento en porciento, se tiene un valor de 3.10 %, es decir, en un año se espera que el evento ocurra aproximadamente 3 veces.

Los resultados obtenidos muestran una probabilidad y una frecuencia del evento muy elevada que no es por ninguna razón aceptable (respecto a los parámetros señalados en el apartado 1.2.3), debido a que eleva el riesgo individual de una persona en un valor mayor al 1% señalado. Pero, para poder confirmar esto, es necesario establecer las consecuencias de éste evento.

El grupo de conjuntos mínimos que contribuyen considerablemente al desarrollo del evento tope esta conformado por los siguientes eventos básicos: $B_3 * B_{14}$, $B_3 * B_8$, $B_3 * B_4$ con una contribución del 32.2 % cada par. Los eventos básicos que forman estos conjuntos mínimos son: *falta de refaccionamiento de PSV's (B3)*, *cerrada la válvula V-3(B4)*, *abierta la válvula V-2 de entrada o salida de carga al secador(B8)* y *mala calibración de los controladores(B14)*; demostrando así que lo encontrado en el HazOp es correcto y perfectamente señalado por los ingenieros de la planta, y con una atención adecuada a las recomendaciones hechas en éste, genera una alta posibilidad de eliminar o reducir tanto la probabilidad como la frecuencia tan elevadas.

3.5 ÁRBOL DE SUCESOS

Los resultados arrojados por el Árbol de Sucesos, muestran que el evento con la secuencia ABCDE tiene una probabilidad de ocurrencia de 1.67×10^{-4} y que el suceso con la secuencia ABDE tiene una probabilidad de ocurrencia de 9.3×10^{-5} y que la probabilidad real de la fuga es la suma de ambas, dando como resultado 2.6×10^{-4} ocurrencia /evento



Las secuencia de sucesos señala que; al presentarse la fuga, el operador puede o no detectarla y actuar como consecuencia de la detección. La forma de la actuación solo se limitaría a parar el procedimiento de alineación de los secadores y a un paro automático de las bombas de alimentación del circuito, lo cual ya no permitiría un aumento mayor en la presión y sobrellenado del sistema. Pero no existe ningún sistema de despresurización adecuado del circuito por sobrellenado de líquido. Esto se establece a partir de los datos de presión de trabajo del acumulador (que es de 7.1 Kg/cm²) y de las PSV's del circuito que trabajan a 28.8 Kg/cm² lo que deja un margen de presión muy alto.

Otro sistema de seguridad que se tiene son los detectores de gas butano, pero su mal funcionamiento cuando hay lo que llaman un "sur" (que no es otra cosa que los vientos soplen de sur a norte), no los hace tan confiables.

El resultado es demasiado elevado lo que implica que las funciones de seguridad son insuficientes para tener una reducción del riesgo aceptable.

El caso del post-accidente a falta de datos no se puede calcular que escenario sería el más probable al desencadenarse el accidente. Pero, a partir de las condiciones de operación del acumulador y de las características físico-químicas de las sustancias se pudo determinar que los escenarios posibles son los siguientes: Jet Fire, Flash Fire y UVCE

3.6 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Los valores de la dispersión señalan que si se tiene vientos reinantes de sur a norte, con una velocidad de 1.5 m/s y con una estabilidad de tipo F, se puede tener el punto de ignición en la distancia señalada para tal motivo, dentro de los límites de inflamabilidad de la mezcla, dando así la posibilidad de que en cualquier momento se desate el "Jet Fire" (tabla 2.7.2). Pero si no sucediera eso, la dispersión podría tener el LII hasta 80 m lo que aumenta en número de puntos de ignición.

El Jet Fire que se puede producir a 10 m tendría una longitud que podría dañar a equipos colindantes, pero sin llegar a la sección de reacción, lo que impediría de primera instancia un daño superior.

A los 18 m de distancia a partir del punto de ignición se tienen valores tanto de radiación como sobrepresión que pueden dañar a los equipos colindantes los cuales también manejan sustancias inflamables, lo que podría agravar el problema (tablas 2.7.4 y 2.7.5).



Al ver los resultados de la explosión podemos ver que esta provocaría daños un poco superiores que por radiación, ya que la zona de daño por sobrepresión de 0.2 bar se encuentra a los 18 m aproximadamente de distancia.

Mediante el uso de las ecuaciones del método Probit podemos ver que en un tiempo de exposición de 20 s la mayor cantidad de personas tendrán quemaduras de 1er grado con una radiación de 12.5 Kw/m² y por sobrepresión a partir de víctimas por impacto del cuerpo, ya sea muerte o lesiones, se tiene un 100% en casi todos los niveles de sobrepresión.

3.7 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

El valor resultante de la estimación (2,326,067 Dll's U.S.) permite señalar que el riesgo puede ser considerado como de consecuencias catastróficas debido a la aproximación al monto total establecido de 25,000,000 pesos M.N. (aproximadamente 2,500,000 Dll's U.S.), por parte de la empresa, para eventos de esta magnitud.

Esto permite señalar que toda alternativa que establezca para la eliminación o reducción del riesgo es menor al monto, es una alternativa que se debe de considerar.



CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En lo referente al estudio.

La poca información disponible, lo nuevo de la planta, la poca práctica en la aplicación de las técnicas, así como la falta de experiencia en la detección correcta de los accidentes hace de este estudio una aproximación de lo que realmente es un "Análisis de Riesgos". Con esto no estoy demeritando mi propio esfuerzo, sólo señalo que no hay que tomar lo hecho en esta tesis como algo intangible, en el sentido en que la información presentada, así como el procedimiento seguido puede ser de alguna utilidad para los que quieran incursionar, como yo, en la seguridad industrial.

El considerar que la identificación de los accidentes es un procedimiento largo, que tiene su principal punto de apoyo en la experiencia de los participantes en el estudio, es establecer que puede existir algún accidente potencial que no este o no pueda ser señalado de manera adecuada, por lo que, el considerar la continuidad en los análisis de las instalaciones es una manera adecuada de reducir el riesgo.

La utilización de manera progresiva de las técnicas permitió ir delimitando las áreas que presentan el mayor riesgo para una adecuada operación de la planta, así como señalar en donde se encuentran las principales causas, su combinación y secuencia, que pueden dar origen a los llamados accidentes mayores. Así mismo, el uso de todas estas técnicas permite mostrar que una manipulación adecuada de la información puede llevarnos a datos que permitirán establecer medidas correctoras válidas para los problemas encontrados.



En lo referente a los resultados.

El iniciar con el *Análisis Histórico de Accidentes*, permitió establecer en que áreas de proceso es necesario poner mayor atención. Para posteriormente, mediante el uso del *Índice DOW* señalar que grado de riesgo de fuego o explosión que se puede correr en los equipos o procesos señalados.

Una vez realizado esto (que no es otra cosa que trabajo de gabinete, pero no menos importante), fue necesario recurrir a la experiencia de los ingenieros mediante el uso del *Análisis HAZOP*, con lo que se logró detectar un error en uno de los procedimientos de operación, que podría generar un accidente mayor.

Al tener detectado correctamente el error de procedimiento, se paso a la determinación de las causas que dieran un funcionamiento anormal de las instalaciones. Esto se logró gracias al uso de una técnica conocida como *Árbol de Fallas*, que permitió determinar las causas básicas, su secuencia y la probabilidad de ocurrencia de la desviación analizada.

Aquí hay que señalar que los valores de la probabilidad utilizados para el árbol de fallas, fueron obtenidos de la experiencia de algunos ingenieros participantes en el estudio y que su confiabilidad no esta establecida.

Ya sorteado este inconveniente es necesario evaluar las funciones de seguridad que permitan el tratamiento del potencial accidente, ya sea para eliminarlo o reducirlo. Esto se logra mediante el uso de una técnica conocida como *Árbol de Sucesos*, la que permitió mostrar que las funciones de seguridad para prevenir el accidente son insuficientes, dando así un apoyo más a establecer medidas que reduzcan o eliminen el riesgo.

Finalmente, para demostrar que el potencial accidente hallado, puede ser un verdadero inconveniente y que lo que se haga para reducirlo será más barato que lo que se deje de hacer, es necesario calcular las consecuencias que se pueden tener de la materialización de este. Esto se logró mediante el uso de un simulador (que es aceptado por la SEMARNAT para análisis de consecuencias), que permite establecer que a ciertas condiciones se pueden tener un evento de magnitudes iniciales controlables, que al salirse de control lograrían dañar instalaciones aledañas e inclusive a poblaciones cercanas, debido a fugas de HF, producidas por el fuego o por las explosiones.



Por todo lo anterior concluyó que:

En la identificación de los posibles y/o probables accidentes que pueden ocurrir en las instalaciones en la operación normal de la planta, se encontró que, las operaciones más complejas, como lo son. La reacción, destilación y secado son las que presentan mayor riesgo y que sus principales fallas son mecánicas y humanas. Estas tienen consecuencias muy diversas, que van desde el paro de una parte de la sección, pasando por una disminución en la producción de alquilado hasta en paro de la planta por fugas o incendio.

Entre las causas básicas que podemos señalar se encuentran los fallos de válvulas de control, de alivio, toma de decisiones y seguimiento de procedimientos inadecuados.

Entre las causas inmediatas que podemos señalar se encuentran los trabajos en condiciones inseguras, no utilizar o anular los sistemas de seguridad, la falta de protecciones y resguardos en los equipos, falta de sistemas de aviso, de alarmas o de llamadas de atención y la escasez de espacio para trabajar.

También podemos señalar que esta falta de control, la acción y /o condición insegura aún no desencadenan algún accidente de importancia, pero que la probabilidad de sufrirlo es muy alta que al materializarse tendría pérdidas muy elevadas. Por tal motivo, el riesgo que se corre es muy elevado e inaceptable para los estándares de seguridad de la empresa.

El no localizar otros posibles y/o probables accidentes sugiere que algo se hizo mal. Estableciendo una búsqueda del lugar en donde puede estar el error podemos señalar que se encuentra en el *Análisis HazOp*. El HazOp es el bastión en la que se establece el análisis de riesgos (no el único, pero sí el mejor), que al ser mal entendido y dirigido en su aplicación, solo se tendrán más peligros potenciales despreciados que los realmente encontrados. Que la costumbre y el temor a represiones obligan a los participantes en el estudio, por parte de la planta, a considerar que en ésta, *no pasa nada*.

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones se dividirán en dos grandes grupos que son: recomendaciones para el estudio y recomendaciones operacionales.



RECOMENDACIONES PARA EL ESTUDIO

Para tener mejores datos sobre las zonas en donde suceden los accidentes, tasas de fallos de equipos e instrumentos, eventos más probables etc., se recomienda que se busque la anexión a una de las bases de datos más respetadas, como son MHIDAS, MARS, FACTS, etc.

Otra recomendación en este sentido es la de establecer una base de datos en el laboratorio que permita tener las tasas de fallos más frecuentes en las instalaciones de la empresa petrolera, así como una descripción detallada de los accidentes potenciales o de los ya materializados.

Mejorar el curso HAZOP dado a los ingenieros que participen en el estudio por parte de la empresa, ya que esto permitirá un mejor entendimiento de que el objetivo es hacer más segura la instalación y no perjudicar a nadie.

Mentalizar a los nuevos tesisistas que lo se busca con estos trabajos es dejarles experiencia de primer nivel y como tal debe de aprenderse lo mejor posible. Explicar en que consisten los Análisis de Riesgos es dar un paso para generar profesionistas con conciencia de que la seguridad es primero.

RECOMENDACIONES OPERACIONALES.

Las primeras recomendaciones surgen del Análisis HazOp, las cuales consisten en lo siguiente:

- Automatizar el sistema de secadores para la entrada y salida de estos a regeneración.
 - Esto se puede lograr mediante el uso de válvulas de corte rápido en todas en todas las corrientes de proceso y servicio, lo cual implicaría separar los equipos.
 - Otra alternativa para evitar que parte de la mezcla de proceso entre al sistema de regeneración es la colocación de válvulas de tres vías que desvien la corriente hacia la dirección a la que se requiere. Además se deben de colocar líneas que permitan mandar directamente la corriente para poder dar mantenimiento a estas válvulas.



- Instrumentar el acumulador de carga del sistema de regeneración.
 - Esto es para detectar el alto nivel y la alta presión que se pudieran dar por aumento de la carga al circuito. Así para lograrlo es necesario establecer alarmas de alto nivel y alta presión en el acumulador de carga. Ver plano FQ-AS-02
 - Los indicadores de nivel deben de tener válvulas de bola de retención.
 - Colocar una válvula controladora de flujo de descarga en la línea de drenaje, así como una alarma de bajo nivel en la bota.
 - La instrumentación debe de estar respaldada por un sistema de desahogo de nivel que evite en el uso inadecuado de PSV's y el desfogue al cabezal de hidrocarburos.
 - Colocar una válvula de aislamiento en la línea de succión de las bombas del sistema de regeneración.

- Modificar el procedimiento de alineación de los secadores para sacarlos de servicio con el fin de evitar el alto nivel.

- Mejorar los detectores de gas butano que se usan en sección.

- Establecer un procedimiento de emergencia para el caso de una fuga y si ya se tiene concientizar tanto a trabajadores como a ingenieros que de un momento a otro puede suceder y que sus causas pueden ser detectadas para prevenirlo.

- Para mantener en funcionamiento la planta se recomienda adicionar líneas que permitan que las corrientes provenientes de los secadores FF-301 y FF-303 no tengan que pasar por los secadores FF-302 en caso de que tengan algún problema de taponamiento u otra cosa. Así mismo, cada uno de los pares de secadores señalados tienen que tener líneas que los hagan independientes de los otros.



BIBLIOGRAFÍA

LIBROS

1. Germán Borriel Luna (1997). *Sistema de Gestión de Riesgos Laborales e Industriales*. MAPFRE. Madrid
2. Joaquim Casal, Helena Montiel (2001). *Análisis de Riesgos en Instalaciones Industriales*. Alfa omega, España.
3. Cristina Cortinas de Nava y Carlos Pérez Torres (1990) *Promoción De La Prevención De Accidentes Químicos* INE, México
4. Antonio Creus Solé (1991) *Fiabilidad y Seguridad de Procesos Industriales*. Marcombo, España.
5. Crowl and Louvar (1999) *Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications*. Prentice-Hall, EUA.
6. Adolfo Rodellar Lisa (2000) *Seguridad e Higiene en el Trabajo*. Alfa omega. España.
7. Santamaría Ramiro. J.M. (1994) *Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química*. MAPFRE. España.
8. Trevor Klett (2002) *¿Qué falló? Desastres en Plantas con Procesos Químicos. ¿Cómo Evitarlos?* McGraw-Hill Profesional. España.

MANUALES

9. AIChE (1994) *DOW's. Fire and Explosion Hazard Classification Guide* American Institute Of Chemical Engineers, EUA.
10. CCPS (1995) *Hazard Evaluation Procedures*. New York.
11. CCPS (2000) *Process Quantitative Risk Analysis*. New York.
12. PEMEX *Manual de Operaciones de la Unidad de Alquilerón*. (1996) México.
- 13a. Oficina Internacional del Trabajo (1990) *Control de Riesgos de Accidentes Mayores*. OIT. Ginebra
- 13b. Oficina Internacional del Trabajo (1984) *Prevención de Accidentes* OIT. Ginebra.
- 13c. Oficina Internacional del Trabajo (1991) *Prevención de Accidentes Industriales Mayores*. OIT. Ginebra.
14. PEMEX (1995). *Norma PMX-DG-GPASI-2105.3* México

ARTICULOS DE REVISTAS

15. A.E. Eleazar and R.M. Heck. *Hydro-isomerization de C₄s*. Hydrocarbon Processing. EUA. May 1979 (112-118)



16. R.C. Hanna. *Apply Decision Theory To Hazard Evaluation*. Hydrocarbon Processing, EUA. Dec / 1979 / (133-138)
17. G. Mani. *Use Risk Analysis as a Safety Tool*. Hydrocarbon Processing, EUA. Sept / 1994 / (87-94)
18. José Mañas Lahoz. *Aprovechamiento de los Métodos de Análisis de Riesgos para Mejorar la Seguridad en Industrias Químicas y Afines*. Ingeniería Química, España. Abril/1991/213-221
19. José Antonio Mieres y Pedro Pacha. *La Evaluación de Riesgos, Pieza Clave de la Gerencia de Riesgos*. Ingeniería Química, España. Diciembre/1990/139-140
20. Román Mozo Juan Luis. *La Prevención de Accidentes Mayores* Ingeniería Química, España. Septiembre / 1990 / (120-124)
21. Guillermo Planas Cored. *La Prevención de Incendios y Explosiones en las Instalaciones Industriales* Ingeniería Química, España. Septiembre/1989/141-155
22. Bartomeu Sigales. *Estudios de Seguridad en las Industrias de Refino de Petróleo y petroquímica (I, II Y III)* Ingeniería Química, España. Diciembre 1998, Enero 1990 y Febrero 1990.
23. Jonh W. Robinson. *Improve Dryer Control* Chemical Engineering Progress. EUA. Dec/ 1992/ (28-33)

DIRECCIONES ELECTRONICAS.

24. *Análisis de Riesgos como herramienta para la toma de decisiones en las industrias peligrosas*. www.cursosenlinea.cu/eventosv/tecnonet/t26/riverohtm.
25. *Guía Técnica*. Metodología para el análisis de riesgos. www.proteccioncivil.org/etrodoc/guateg.htm
26. *Listado de sustancias químicas peligrosas*. <http://www.semarnat.gob.mx/>
27. *¿Por qué ocurren los accidentes?* www.auspa.org.uy/información/publicación2.htm
28. *¿Por qué se producen los accidentes?* <http://www.acmat.org/campanya/04producen.htm>
29. *¿Qué es Octanaje?* <http://www.franquiciapemex.com/octanaje/que.htm>
30. *Reacciones químicas exotérmicas (III) Análisis de accidentes graves* www.siafa.com.ar/
31. *Reacciones químicas exotérmicas (II): Control Térmico y refrigeración. Los análisis de peligros y de operabilidad en instalaciones de proceso* www.siafa.com.ar/
32. *Revisión Crítica de Algunas Teorías de Accidentes Asociados a la Infraestructura* Universidad de Puerto Rico en Mayagüez
33. *Seguridad Industrial*. www.col.ops.saludambiente/soip/chater.htm



ÁPENDICES

ÁPENDICE A

LISTA DE ACTIVIDADES ALTAMENTE RIESGOSAS

Cuando una actividad esté relacionada con el manejo de una sustancia que presente más de una de las características de peligrosidad señaladas, en cantidades iguales o superiores a su cantidad de reporte, dicha actividad será considerada altamente riesgosa y se incluirá en cada uno de los listados que correspondan.

ACUERDO

Artículo 1o.- Se expide el segundo listado de actividades altamente riesgosas que corresponde a aquéllas en que se manejen sustancias inflamables y explosivas.

Artículo 2.- Se considerará como actividad altamente riesgosa, el manejo de sustancias peligrosas en cantidades iguales o superiores a la cantidad de reporte.

Artículo 3.- Para los efectos de este Acuerdo se considerarán las definiciones contenidas en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y las siguientes:

Cantidad de reporte: Cantidad mínima de sustancia peligrosa en producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final, o la suma de éstas, existentes en una instalación o medio de transportes dados, que al ser liberada, por causas naturales o derivadas de la actividad humana ocasionaría una afectación significativa al ambiente, a la población, o a sus bienes.

Manejo: Alguna o el conjunto de las actividades siguientes: producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso o disposición final de sustancias peligrosas.

Sustancia peligrosa: Aquélla que por sus altos índices de inflamabilidad, explosividad, toxicidad, reactividad, corrosividad, o acción biológica puede ocasionar una afectación significativa al ambiente, a la población o a sus bienes.

Sustancia inflamable: Aquélla que capaz de formar una mezcla con el aire en concentraciones tales para prenderse espontáneamente o por la acción de una chispa.



Sustancia explosiva: Aquella que en forma espontánea o por acción de alguna forma de energía genera una gran cantidad de calor y energía de presión en forma casi instantánea.

Artículo 4o.- Las actividades asociadas con el manejo de sustancias inflamables y explosivas que deben considerarse altamente riesgosas sobre la producción, procesamiento, transporte, almacenamiento, uso y disposición final de las sustancias que a continuación se indican, cuando se manejan cantidades iguales o superiores a las cantidades de reporte siguientes:

I. Cantidad de reporte a partir de 500 kg.

a) En el caso de las siguientes sustancias

en estado gaseoso:

Acetileno

Acido sulfhídrico

Anhidrido hipocloroso

Butano

Butadieno

1-Buteno

2-Buteno (cis,trans)

Cianógeno

Ciclobutano

Ciclopropano

Cloruro de metilo

Cloruro de vinilo

Difluoruro 1-Cloroetano

Dimetil.amina

2,2-Dimetil propano

Etano

Eter metílico

Etileno

Fluoruro de etilo

Formaldehido

Hidrógeno

Metano

Metilamina

2-Metil propeno

Propano

Propileno

Propino

Sulfuro de carbonilo

Tetrafluoroetileno

Trifluorocloroetileno

Trimetil amina

b) En el caso de las sustancias en estado gaseoso no previstas en el inciso anterior y que tengan las siguientes características:

Temperatura de inflamación ≤ 37.86 °C

Temperatura de ebullición < 21.1 °C

Presión de vapor > 760 mm hg



ÁPENDICE B

CLASIFICACIÓN DE RIESGOS

La clasificación del riesgo

Clase A	Inaceptable
Clase B	Indeseable
Clase C	Aceptable con controles
Clase D	Aceptable como esta

FRECUENCIA

La clasificación de la frecuencia

Frecuente	1
Ocasional	2
Posible	3
Improbable	4

				4	3	2	1		
C	B	A	A	1	G R A V E D A D				
D	C	B	A	2					
D	D	C	B	3					
D	D	D	C	4					

La clasificación de las consecuencias

CONSECUENCIAS	4 Importante	3 significativo	2 mayor	1 catastrófico
---------------	-----------------	--------------------	------------	-------------------

Seguridad a la vida	Un lesionado dentro de la refinería	Varios lesionados dentro de la refinería	Una lesión fuera de la refinería y una pérdida de vida dentro	Pérdida de una o más vidas fuera de la refinería
Daños a las Instalaciones	<250 000. 00	<2, 500, 000. 00	>2, 500, 000.00	> 25, 000, 000.00
Daños al Medio ambiente	Fuga menor	Fuga menor que requiere limpieza dentro de la refinería	Fuga mayor que requiere limpieza dentro de la refinería	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la refinería
Daños Operativos	Paro de equipo o sección de la planta	Paro de una planta	Paro de más de una planta	Paro de la refinería



Procedimiento para determinar el grado de riesgo.

1. Se selecciona una categoría de la tabla de **consecuencias**. Posteriormente, se elige una opción de gravedad que se cree pudiera existir en el evento estudiado y se toma el número correspondiente de la parte superior de la tabla.
2. Se selecciona la frecuencia (de la tabla de clasificación de frecuencias) con la que puede ocurrir el evento.
3. En la tabla de **clasificación de riesgos**, con la frecuencia de ocurrencia del evento seleccionada y con el número de gravedad obtenido de la tabla de consecuencias, se obtiene la letra correspondiente al grado de riesgo.



FACTORES DE CRÉDITO POR CONTROL DE PÉRDIDAS

1. Factor de Crédito por Control de Proceso (C₁)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Poder de Emergencia	0.98	0.000
b. Enfriamiento	0.97 a 0.99	0.000
c. Control de Explosión	0.84 a 0.98	0.000
d. Paro de Emergencia	0.96 a 0.99	0.000
e. Control Computarizado	0.93 a 0.99	0.000
f. Gas Inerte	0.94 a 0.96	0.000
g. Procedimientos/ Guías de Operación	0.91 a 0.99	0.000
h. Revisión de Reactivos Químicos	0.91 a 0.98	0.000
i. Otros Análisis de Riesgos.	0.91 a 0.98	0.000
Valor de C ₁		

2. Factor de Crédito por el Aislamiento de Material (C₂)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Válvulas de Control Remoto	0.96 a 0.98	0.000
b. Vaciado / Desfogue	0.96 a 0.98	0.000
c. Drenaje	0.91 a 0.97	0.000
d. Lógicos de Control	0.98	0.000
Valor de C ₂		

3. Factor de Crédito por Protección Contra-incendio (C₃)

Característica	Rango del Factor de Crédito	Factor de Crédito Usado
a. Detección de Fugas	0.94 a 0.98	0.000
b. Acero Estructural	0.95 a 0.98	0.000
c. Suministro de Agua Contra-incendio	0.94 a 0.97	0.000
d. Sistemas Especiales	0.91	0.000
e. Sistemas de Espreas	0.74 a 0.97	0.000
f. Cortinas de Agua	0.97 a 0.98	0.000
g. Espumas	0.92 a 0.97	0.000
h. Extinguidores de Mano	0.93 a 0.98	0.000
i. Protección de Cables	0.94 a 0.98	0.000
Valor de C ₃		

Factor de Crédito por Control de Pérdidas $C_1 \times C_2 \times C_3 =$

SUMARIO DEL ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA UNIDAD DE PROCESO

1. Índice de Fuego y Explosión		
2. Radio de Exposición	m	
3. Área de Exposición	m ²	
4. Valor del Área de Exposición		SMM
5. Factor de Daño		
6. Daño Base Máximo Probable a la Propiedad – [4 x 5]		SMM
7. Factor de Crédito por Control de Pérdidas		
8. Daño Real Máximo Probable a la Propiedad – [6 x 7]		SMM
9. Días Máximos Probables de Paro de Producción	Días	
10. Interrupción de Negocios		SMM



ÁPENDICE D

SIMBOLOGIA PARA EL ÁRBOL DE FALLAS

Para la representación gráfica de los árboles de fallos y con el fin de normalizar y universalizar la representación se han elegido ciertos símbolos que se representan en la Tabla 1

Tabla 1: Símbolos utilizados para la representación del árbol de fallas

SÍMBOLOS	SIGNIFICADO DEL SÍMBOLO
	SUCESO BÁSICO. No requiere de posterior desarrollo al considerarse un suceso de fallo básico.
	SUCESO NO DESARROLLADO. No puede ser considerado como básico, pero sus causas no se desarrollan, sea por falta de información o por su poco interés.
	SUCESO INTERMEDIO. Resultante de la combinación de sucesos más elementales por medio de puertas lógicas. Asimismo se representa en un rectángulo el "suceso no deseado" del que parte todo el árbol.
	PUERTA "Y" El suceso de salida (S) ocurrirá si, y sólo si ocurren todos los sucesos de entrada (E1 B1).
	PUERTA "O" El suceso de salida (S) ocurrirá si ocurren uno o más de los sucesos de entrada (E1 B1).
	SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA. Indica que el árbol sigue en otro lugar.
	PUERTA "Y" PRIORITARIA. El suceso de salida ocurrirá si, y sólo si todas las entradas ocurren en una secuencia determinada, que normalmente se especifica en una elipse dibujada a la derecha de la puerta.
	PUERTA "O" EXCLUSIVA. El suceso de salida ocurrirá si lo hace una de las entradas, pero no dos o más de ellas.
	PUERTA DE INHIBICIÓN. La salida ocurrirá si, y sólo si lo hace su entrada y además se satisface una condición dada (X).



CONJUNTOS MINIMOS DE CORTE

Un sistema grande tiene un gran número de modos de falla, un sistema con 40-90 componentes puede llegar a tener cientos de miles de **conjuntos mínimos de corte**. Para estos casos es necesario llegar a reducir los modos de fallo para simplificar el análisis. Se requieren sólo los modos de fallo que son generales, en el sentido que si eliminamos estos modos de fallo, esto resultará en la eliminación de gran parte de los modos de fallo del sistema. Un **conjunto mínimo de corte (Minimal Cut Set - MCS)** es uno tal que si un elemento se remueve del conjunto, los demás eventos colectivamente **no son más un conjunto de corte**.

El concepto de conjunto mínimo de corte nos permite reducir el número de conjuntos de corte y el número de eventos básicos involucrados en cada **conjunto de corte**. Lo que simplifica el análisis.

Algoritmo de identificación de un MCS

Una compuerta OR incrementa el número de **conjuntos mínimos de corte**, mientras que una compuerta AND incrementa el número de eventos en un **conjunto mínimo de corte**, de acuerdo con esto se puede establecer el siguiente algoritmo:

1. Identifique las compuertas con un nombre.
2. Identifique (numere) cada evento básico.
3. Ubique la primera compuerta después del evento tope en la primera fila y columna de una matriz.
4. Itere de un modo top-down haciendo las siguientes operaciones:
 - Reemplace las compuertas OR por un arreglo vertical compuesto por las entradas a la compuerta e incremente los **conjuntos de corte**.
 - Reemplace las compuertas AND por arreglos horizontales de las entradas e incremente la medida del **conjunto de corte**.
5. Cuando todas las compuertas han sido reemplazadas por los eventos básicos obtenga los conjuntos de corte mínimos removiendo todos los supersets (conjuntos que incluyen algún otro conjunto).



Siempre podremos transformar el evento principal a la forma:

$$T = M_1 + M_2 + \dots + M_n$$

Los M_i son eventos secundarios llamados "conjuntos mínimos de corte", que cumplen con:

- la ocurrencia de cualquiera de ellos causa el evento principal
- cada uno define un modo de falla del sistema

Evaluación cuantitativa

Los objetivos de esta etapa son los de obtener la probabilidad de ocurrencia del evento tope, así como de cada uno de los CMC del árbol desarrollado. También se busca identificar los eventos de mayor contribución a la ocurrencia del evento tope. Para llevar a cabo el análisis cuantitativo es necesario obtener la probabilidad de ocurrencia de los eventos primarios. Los eventos primarios pueden ser errores humanos, fallas de equipo o eventos externos.



ÁPENDICE E.

FORMAS DE PROGRESIÓN DE ACCIDENTES

TABLA 1.3.1 PELIGROS, SECUENCIA DE SUCEOS Y RESULTADOS DE ACCIDENTES DEL ANALISIS CUANTITATIVO DE RIESGOS				
PELIGROS	SECUENCIA DE EVENTOS			RESULTADOS DEL INCIDENTE
	EVENTOS INICIALES	EVENTOS INTERMEDIOS		
Inventario significativo de: Mat. Inflamables Mat. Combustibles. Mat. Corrosivos Asfixiantes Mat. Sensibles al choque Mat. Altamente reactivos Mat. Tóxicos Gases inertes Condiciones físicas extremas Alta temperatura Temp. Criogénica Alta presión Vacío Presión cíclica Temperatura cíclica Vibraciones/martilleo de líquidos	Afectación de proceso Desviaciones de procesos Presión Temperatura Velc. de flujo Concentración Fase/ cambio de estado Impurezas Velc. de reacción/ calor de reacción Reacciones espontáneas Polimerización Explosión interna Descomposición Fallas de contención Tuberías tanques, envases, juntas/sellos Mal funcionamiento de equipo Bombas, válvulas instrumentos Sensores, fallas de interlock Pérdidas de servicios Eléctrico, nitrógeno, agua, refrigeración, aire, fluidos de transferencia de calor, vapor, ventilación Fallas en el sistema administrativo Error humano Designación Construcción Operación Mantenimiento Pruebas e inspección Eventos externos Condiciones meteorológicas Temblores Vandalismo/sabotaje	Factores de propagación Fallas de equipos Fallas de sistemas de seguridad Puntos de ignición Hornos flamas incineradores Vehículos Interruptores eléctricos Electricidad estática Superficies calientes/cigarros Fallas en el sistema de administración Errores humanos Omisiones Comisiones Diagnósticos erróneos Toma de decisiones Efectos domino Fallos de otros contenidos Descarga de otros materiales Condiciones externas Metereológicos Visibilidad	Factores de reducción del riesgo Respuesta de control/operador Alarmas Respuesta del sistema de control Cierres de emergencia manual y automático Sistema de detección de gas y fuego Respuesta del sistema de seguridad Válvulas de relevo Sistemas de despresurización Sistemas de aislamiento Respuesta del sistema de respuesta Diques y drenajes Sistemas de protección contra fuego Respiradores de explosiones Adsorción de gases tóxicos Respuesta del plan de emergencia Sirenas y advertencias Procedimientos de emergencia Equipo de protección personal Refugios Escape y evacuación Eventos externos Rápida detección Rápida advertencia Diseño de estructuras especializadas	Análisis Descarga Flash y evaporación Dispersión Gas neutral o positivamente animado Gas denso Incendio Incendio de un charco Flama BLEVE Llamarada Explosiones Explosiones confinadas Explosión de una nube de vapor Explosiones físicas Explosiones de polvo Detonaciones Detonaciones de fases coñdensadas Consecuencias Análisis de efectos Efectos tóxicos Efectos térmicos Efectos de sobrepresión Evaluación de daños A la comunidad A la fuerza de trabajo Al medio ambiente Bienes de la compañía



ÁPENDICE F

RESUMEN DE LAS HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD (HDS)

TABLA DE RESUMEN DE LAS HDS							
CARACTERÍSTICA	SUSTANCIA						
	Isobutano	Butileno	Propano	Propileno	Butano	Hidrógeno	Pentano
CAS	75-28-5	106-98-9	74-98-6	115-07-1	106-97-8	1333-74-0	109-66-0
PROPIEDADES físico-químicas							
Temperatura de ebullición (°C)	-11.73	-6.3	-42.1	-53.9	-0.5	-252.7	36.1
Temperatura de inflamación (°C)	-82.8	340	-105	-108	-60	-50	4.44
Densidad relativa	0.557	0.5951	0.4928	0.52	0.599	0.07	0.73
Peso molecular kg/mol	58.12	56.1	44.09	42.1	58.12	2.0	72.15
Presión de vapor mm Hg 20°C	1520	114	5192	7963.908	1520	100	400
Límites de inflamabilidad %							
Superior	8.55	8.8	9.5	11.1	8.5	74.2	7.8
Inferior	1.9	1.6	2.3	2.0	1.9	4.1	1.1
Temperatura de fusión (°C)	-159.6	-105.8	-187.65	-185	-138.3	-259.19	-129.7
Temperatura de autoignición (°C)	462.0	323	467	455	405	584	260
Densidad del vapor	2.01	1.93	1.56	1.46	2.046	0.069	3.4
Estado físico							
Color	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro	Incoloro
Olor	Ligero		Gas natural	Olefinico	Desagradable	Inodoro	Gasolina
Solubilidad en agua	Alta	Baja	Insoluble	0.02 %	15 %	1.82	Insoluble
% de volatilidad	nd	Nd	Nd	100	Nd	100	Nd
Riesgos de fuego y explosión							
Medio de extinción	Niebla de agua, espuma, CO ₂ y polvo químico seco						
Reactividad							
Estable	si	si	Si	Si	Si	no	Nd
Condición a evitar	Altas temperaturas	Altas temperaturas	Altas temperaturas	Nd	Altas temperaturas	Mezcla con aire	Sobrecalentamientos
Incompatibilidad	Agentes oxidantes fuertes	Agentes oxidantes fuertes	CO ₂	Ácidos minerales	Agentes oxidantes fuertes	Agentes oxidantes fuertes	ND
Grado de riesgo							
salud	2	2	2	1	2	3	1
Inflamación	3	3	3	4	3	4	4
Reactividad	0	1	1	1	1	3	0

* ND: No Disponible



ÁPENDICE G

COSTOS DE EQUIPOS DE LA PLANTA DE ALQUILACIÓN

BOMBAS	
EQUIPO	COSTO DLLs *
GA-302 A/B	606,242
GA-304 A/B	606,242
GA-305 A/B	606,242
GA-310 A/B	2,313,082
GA-316 A/B	606,242
GA-320 A/B	792,480
GA-330 A/B	350,755
GA-333 A/B	350,755

INTERCAMBIADORES DE CALOR	
EQUIPO	COSTO DLLs *
EA-301 A/E	572,948
EA-302	572,948
EA-303	572,948
EA-304	INCLUIDO EN EL PRECIO DEL DA-301
EA-305	572,947
EA-306	572,947
EA-308	572,947
EA-309	572,947
EA-310	1,209,849
EA-318 A/F	1,209,849
EA-323	1,806,386
EA-324	1,806,386
EA-325	1,806,386
EA-326	572,947
EA-327	572,947
EA-328 A/B	572,947
EA-331	1,209,849
EA-332	1,209,849
EA-333	1,209,849
EA-340	INCLUIDO EN EL PRECIO DEL FA-360



OTROS EQUIPOS	
EQUIPO	COSTO DLLs *
FA-302	3,853,549
FA-303	INCLUIDO EN EL PRECIO DEL DA-301
FA-305	2,153,082
FA-306	901,661
FA-309	2,369,736
FA-310	INCLUIDO EN EL PRECIO DEL FA-309
FA-317	1,465,123
FA-360	610,782
FA-370	349,195
FF-301 A/B	4,396,511
FF-302 A/B	2,243,019
FF-303 A/B	2,925,912
DC-301	20,166,809
DA-301	30,564,100

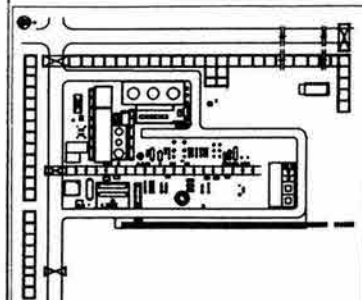
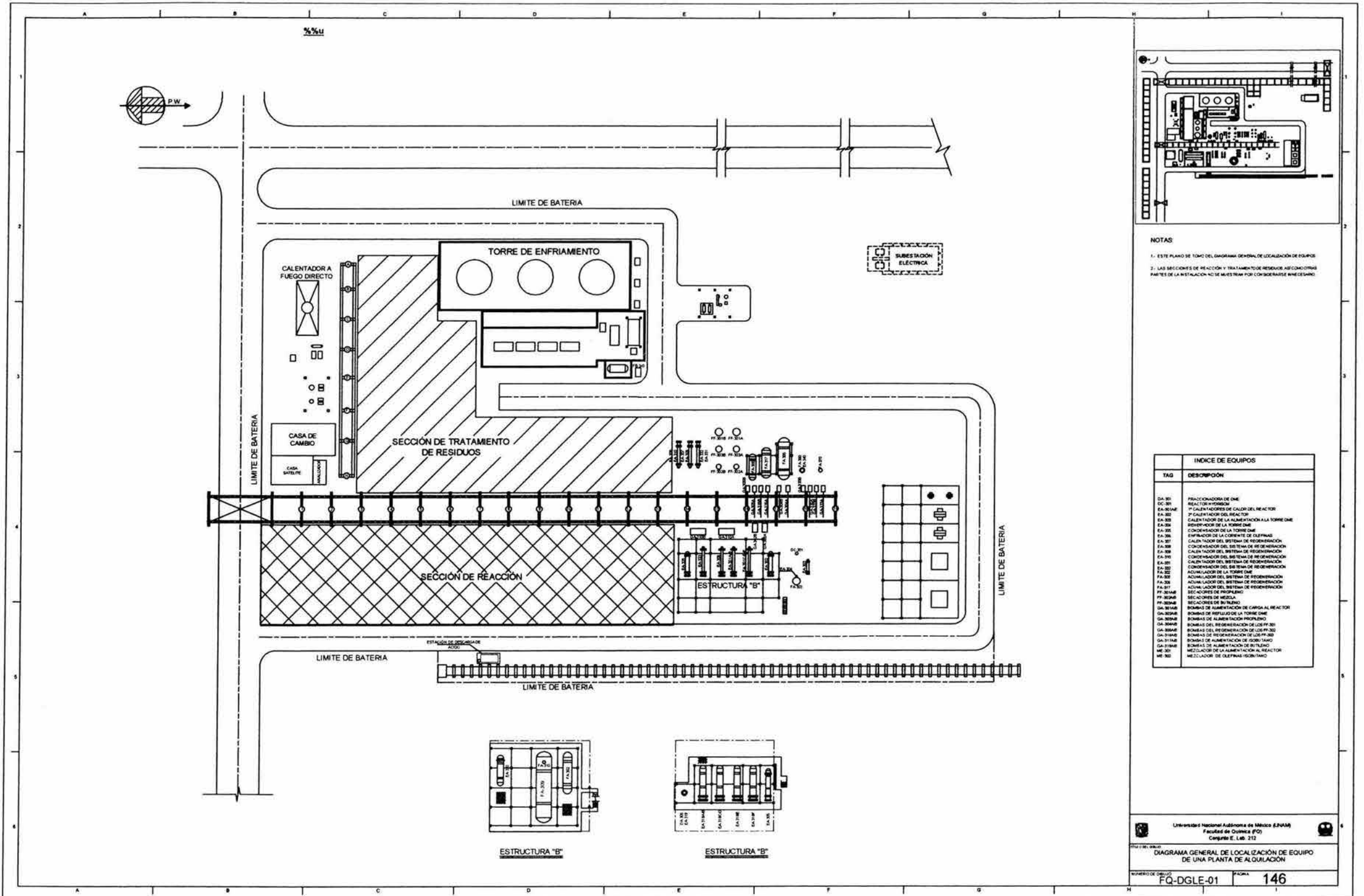
* NOTA: LOS COSTOS DE EQUIPOS SON APROXIMADOS



ÁPENDICE H

DIAGRAMAS

PLANO	NÚMERO	PÁGINA
DIAGRAMA GENERAL DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPO (DGLÉ)	FQ-DGLE-01	146
DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (DFP)	FQ-DFP-01	147
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN (DTI's)	FQ-DTI-01	148
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN (DTI's)	FQ-DTI-02	149
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN (DTI's)	FQ-DTI-03	150
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN (DTI's)	FQ-DTI-04	151
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN (DTI's)	FQ-DTI-05	152
DIAGRAMAS DE TUBERIA E INSTRUMENTACIÓN (DTI's)	FQ-DTI-06	153
DIAGRAMA DE ÍNDICE DOW (ÁREAS DE AFECTACIÓN)	FQ-DI-01	154
ÁRBOL DE FALLAS (SIN REDUCIR)	FQ-AF-01A	155
ÁRBOL DE FALLAS (REDUCIDO)	FQ-AF-01B	156
ÁRBOL DE SUCESOS (PRE-ACCIDENTE)	FQ-AS-01A	157
ÁRBOL DE SUCESOS (POST-ACCIDENTE)	FQ-AS-01B	158
ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (POR RADIACIÓN)	FQ-ACR-01	159
ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (POR PRESIÓN)	FQ-ACP-01	160



NOTAS

1. ESTE PLANO DE TOMO DEL DIAGRAMA GENERAL DE LOCALIZACION DE EQUIPOS
2. LAS SECCIONES DE REACCION Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS ASI COMO OTROS PARTES DE LA INSTALACION NO SE MUESTRAN POR CONSERVARSE SIN NECESARIO

INDICE DE EQUIPOS	
TAG	DESCRIPCION
DA-301	FRACCIONADORA DE OME
DC-301	REACTOR TORDON
EA-301A	1º CALENTADOR DE CALOR DEL REACTOR
EA-302	2º CALENTADOR DEL REACTOR
EA-303	CALENTADOR DE LA ALIMENTACION A LA TORRE OME
EA-304	REFRIGERADOR DE LA TORRE OME
EA-305	CALENTADOR DE LA TORRE OME
EA-306	REFRIGERADOR DE LA CORRIENTE DE OLEFINAS
EA-307	CALENTADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
EA-308	CONDENSADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
EA-309	CALENTADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
EA-310	CONDENSADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
EA-311	CALENTADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
EA-312	CONDENSADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-301	ACUMULADOR DE LA TORRE OME
FA-302	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-303	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-304	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-305	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-306	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-307	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-308	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-309	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-310	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-311	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FA-312	ACUMULADOR DEL SISTEMA DE REGENERACION
FF-301A	SECADORES DE PROPIENO
FF-301B	SECADORES DE PROPIENO
FF-302A	SECADORES DE BUTADIENO
FF-302B	SECADORES DE BUTADIENO
GA-301A	BOMBAS DE ALIMENTACION DE CARGA AL REACTOR
GA-301B	BOMBAS DE ALIMENTACION DE CARGA AL REACTOR
GA-302A	BOMBAS DE REFLUJO DE LA TORRE OME
GA-302B	BOMBAS DE REFLUJO DE LA TORRE OME
GA-303A	BOMBAS DE ALIMENTACION PROPIENO
GA-303B	BOMBAS DE ALIMENTACION PROPIENO
GA-304A	BOMBAS DEL REGENERACION DE LOS PP-301
GA-304B	BOMBAS DEL REGENERACION DE LOS PP-301
GA-305A	BOMBAS DEL REGENERACION DE LOS PP-302
GA-305B	BOMBAS DEL REGENERACION DE LOS PP-302
GA-311A	BOMBAS DE ALIMENTACION DE SODIUM
GA-311B	BOMBAS DE ALIMENTACION DE SODIUM
GA-312A	BOMBAS DE ALIMENTACION DE BUTADIENO
GA-312B	BOMBAS DE ALIMENTACION DE BUTADIENO
ME-301	MELICULADOR DE LA ALIMENTACION AL REACTOR
ME-302	MELICULADOR DE OLEFINAS TORDON

- NOTES:
1. NORMALLY ONLY INSTRUMENT CONTROL FUNCTIONS ARE INDICATED. SUITABLE RECORDING, ANALYSIS AND READING FUNCTIONS ARE TO BE PROVIDED TO MONITOR UNIT PERFORMANCE AND TO PERMIT ADJUSTING OVERALL UNIT HEAT AND MATERIAL BALANCES.
 2. INSTRUMENT ACTUATING LINES ARE NOT EXTENDED TO INDICATE PREFERENCE FOR EITHER AIR, HYDRAULIC OR ELECTRIC MODE.
 3. DETAILED PROCESS FLOW-SHEETS TAKE PRECEDENCE OVER IMPLIED PROCESS FLOW CHARTING.
 4. FEED PUMPS WILL BE LOCATED ADJACENT TO BARGE SPHERE.
 5. 1% FLOW CONTROL FOR REACTOR.
 6. FEED SPHERE SHOWN WITH ONE ON PROCESS AND ONE ON REGENERATION.
 7. COOLING WATER FLOW TO THE UNIT GOES THROUGH THE ACID COOLERS FIRST AND THEN THROUGH THE OTHER EXCHANGERS EXCEPT THOSE OTHERWISE INDICATED.
 8. VENT GAS ABSORBER HAS A REGENERATION COOL WHICH USES EXPANDED GAS FROM ME AS REFRIGERANT.

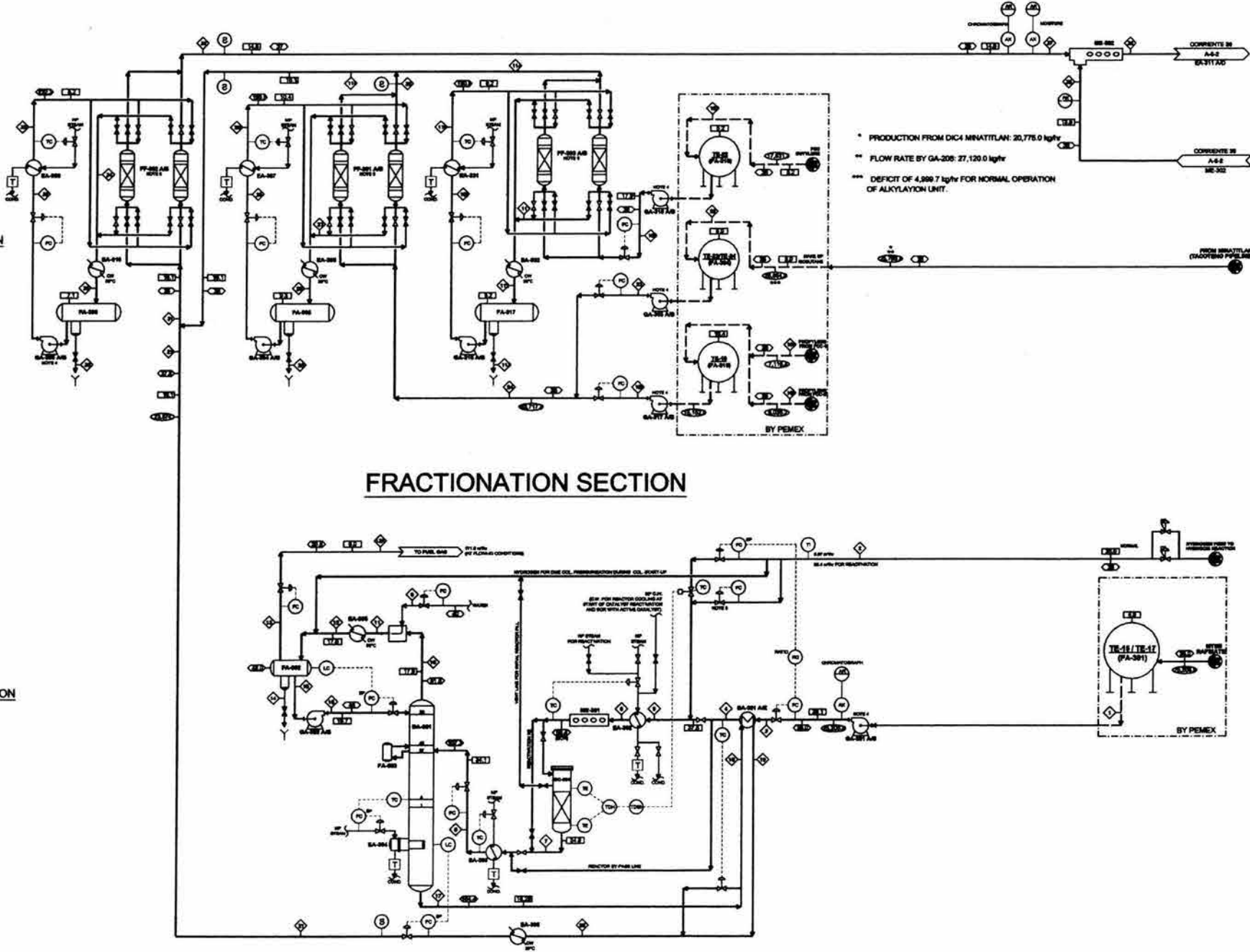
- LEGEND:
- EXISTING EQUIPMENT
- MAJOR CONTROL INSTRUMENTS
 - ◇ STREAM IN
 - PRESSURE (kg/cm² ABS)
 - FLOW RATE (kg/hr)
 - TEMPERATURE (°C)

TE-32, TE-32/TE-34, TE-18, GA-318 AB, GA-303 AB, GA-317 AB, FF-302 AB, FA-317, GA-318 AB, FF-301 AB, FA-305, GA-304 AB, FF-302 AB, FA-309, GA-308 AB, ME-301, GA-301 AB, TE-18/TE-17, DC-301, DA-301, FA-303, GA-302 AB, EA-301 AB, EA-302, EA-303, EA-304, EA-305, EA-310, EA-306, EA-309, EA-307, EA-312, EA-321

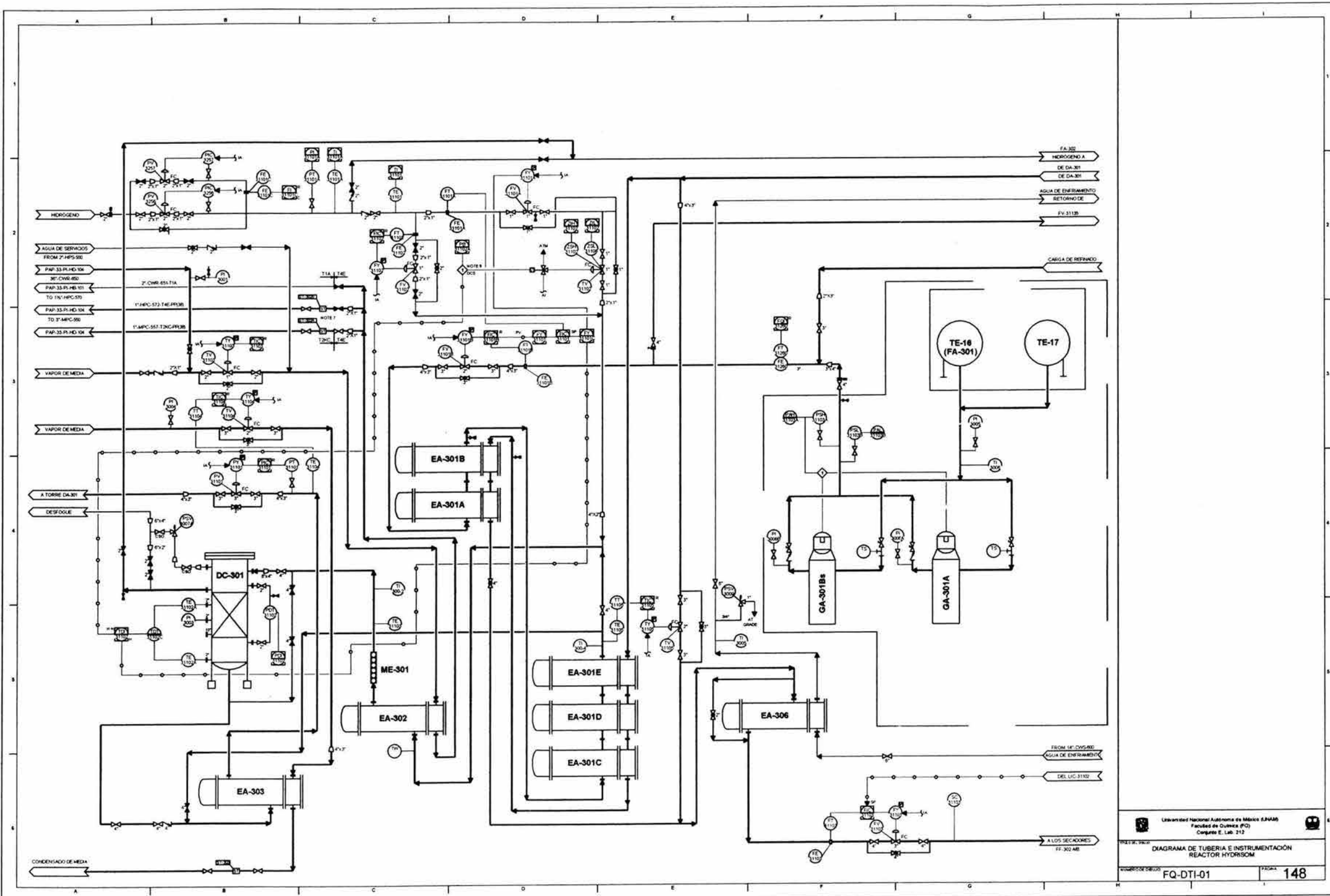
DRYER SECTION

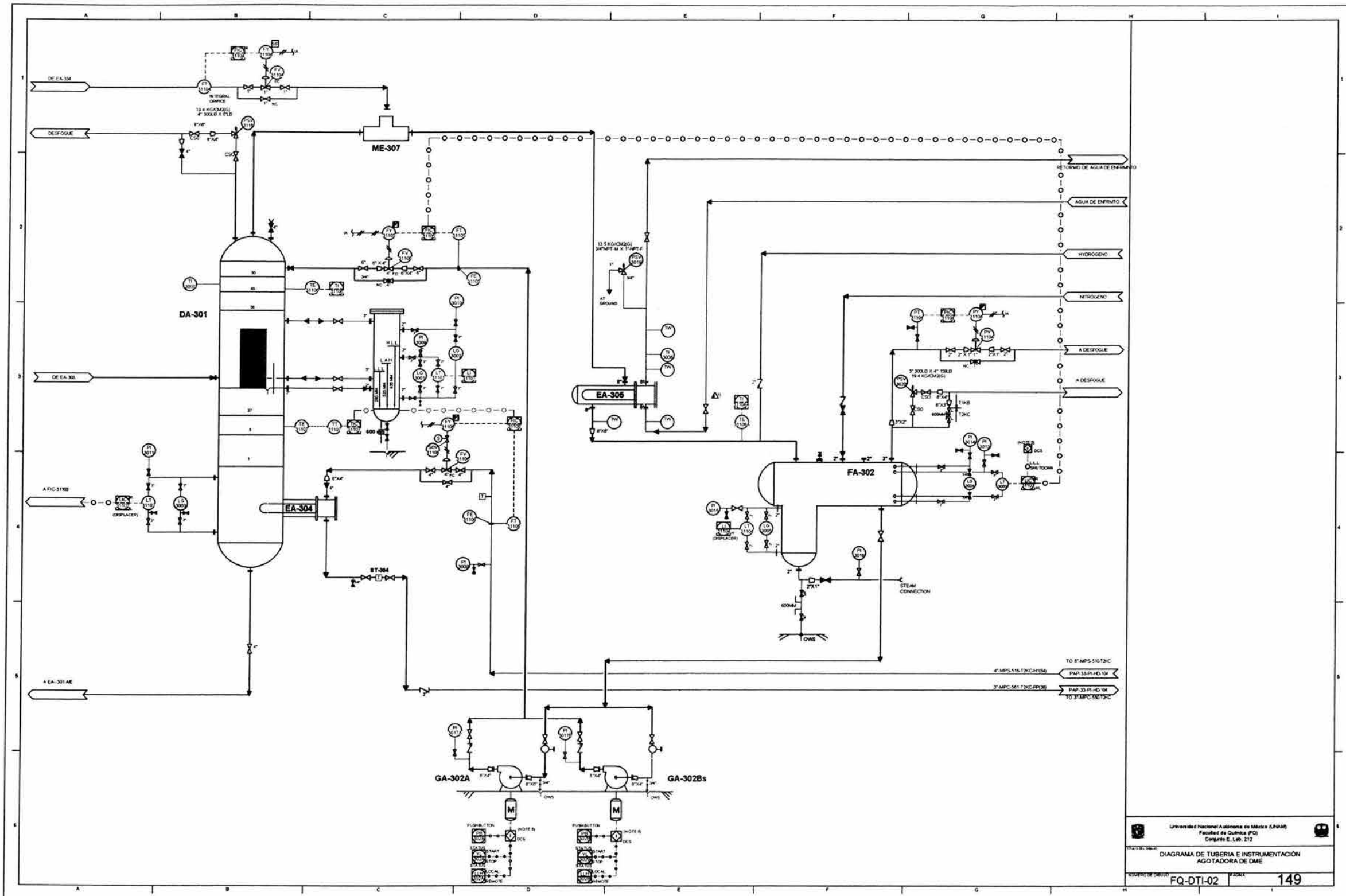
FRACTIONATION SECTION

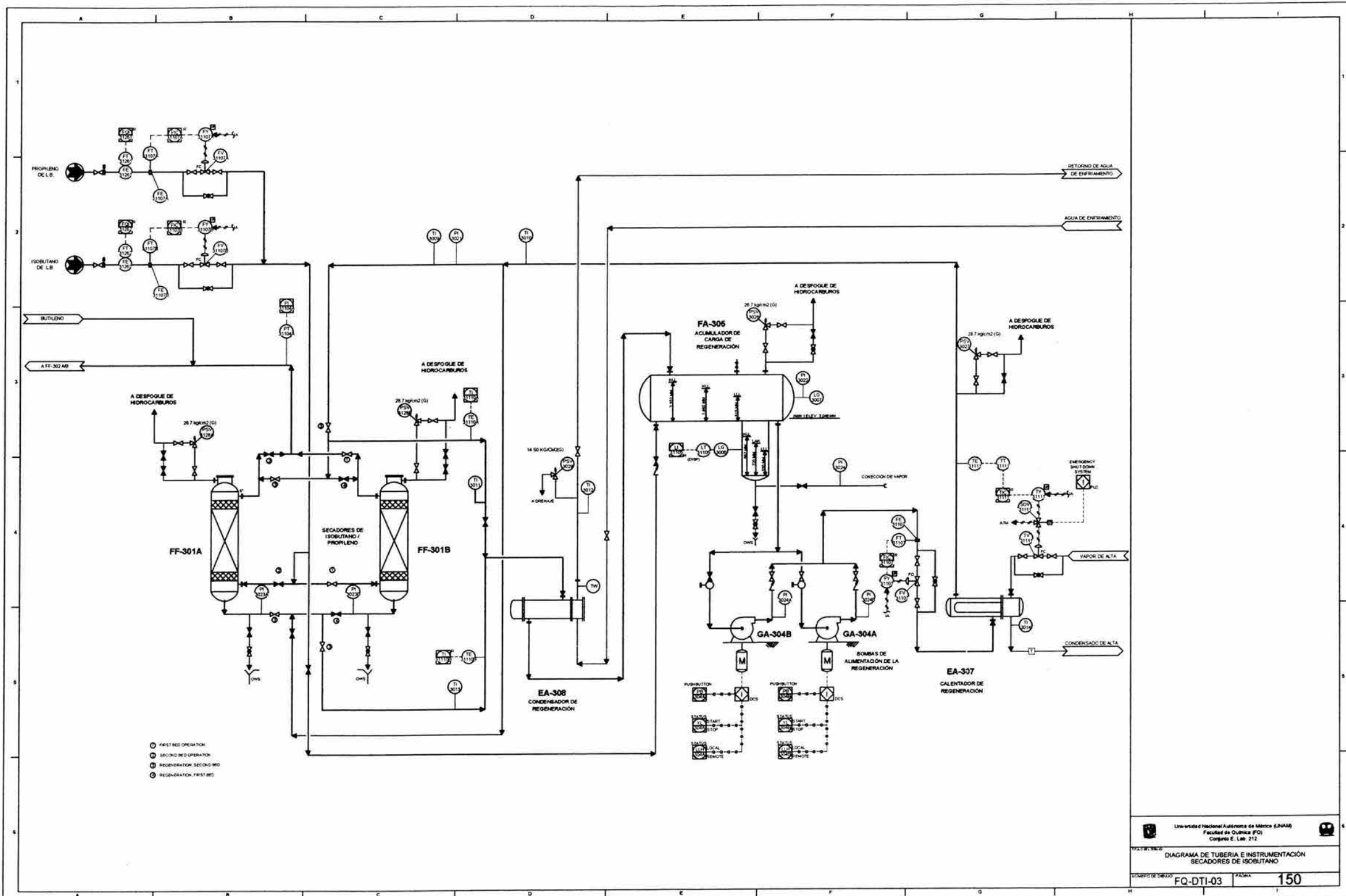
HYDRISOM SECTION



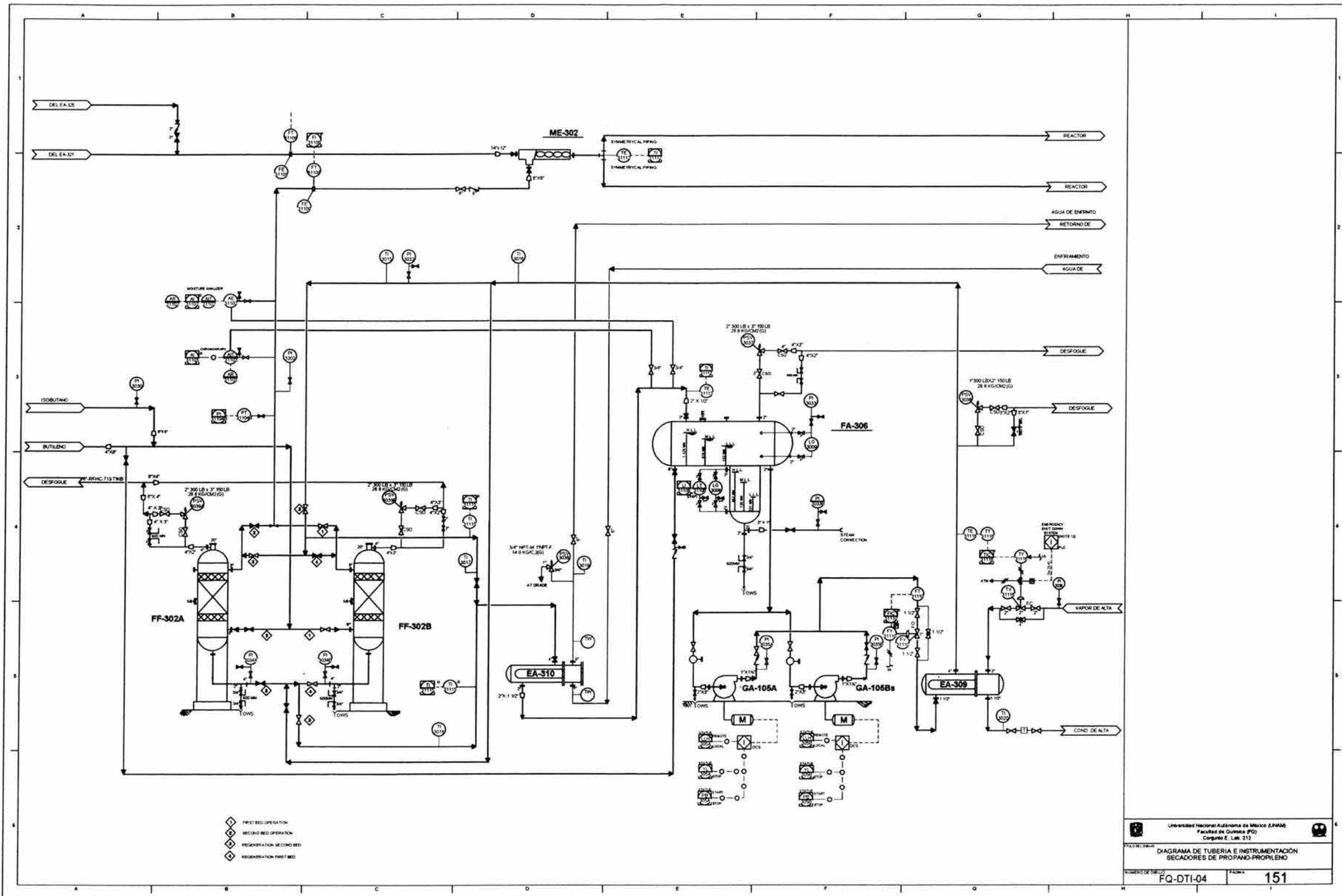
* PRODUCTION FROM DICI MINATITLAN: 20,775.0 kg/hr
 ** FLOW RATE BY GA-308: 27,120.0 kg/hr
 *** DEFICIT OF 4,306.7 kg/hr FOR NORMAL OPERATION OF ALKYLATION UNIT.



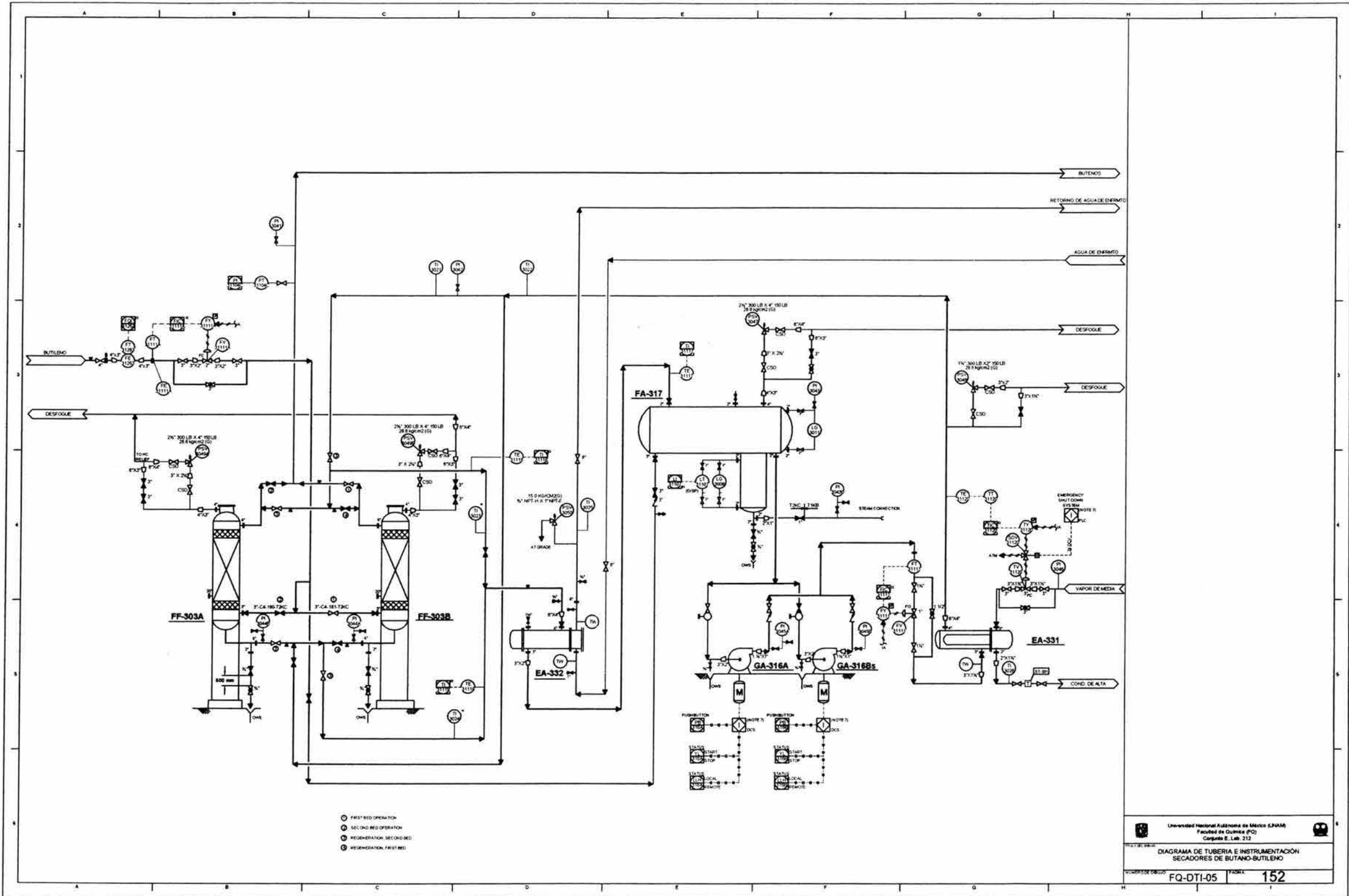




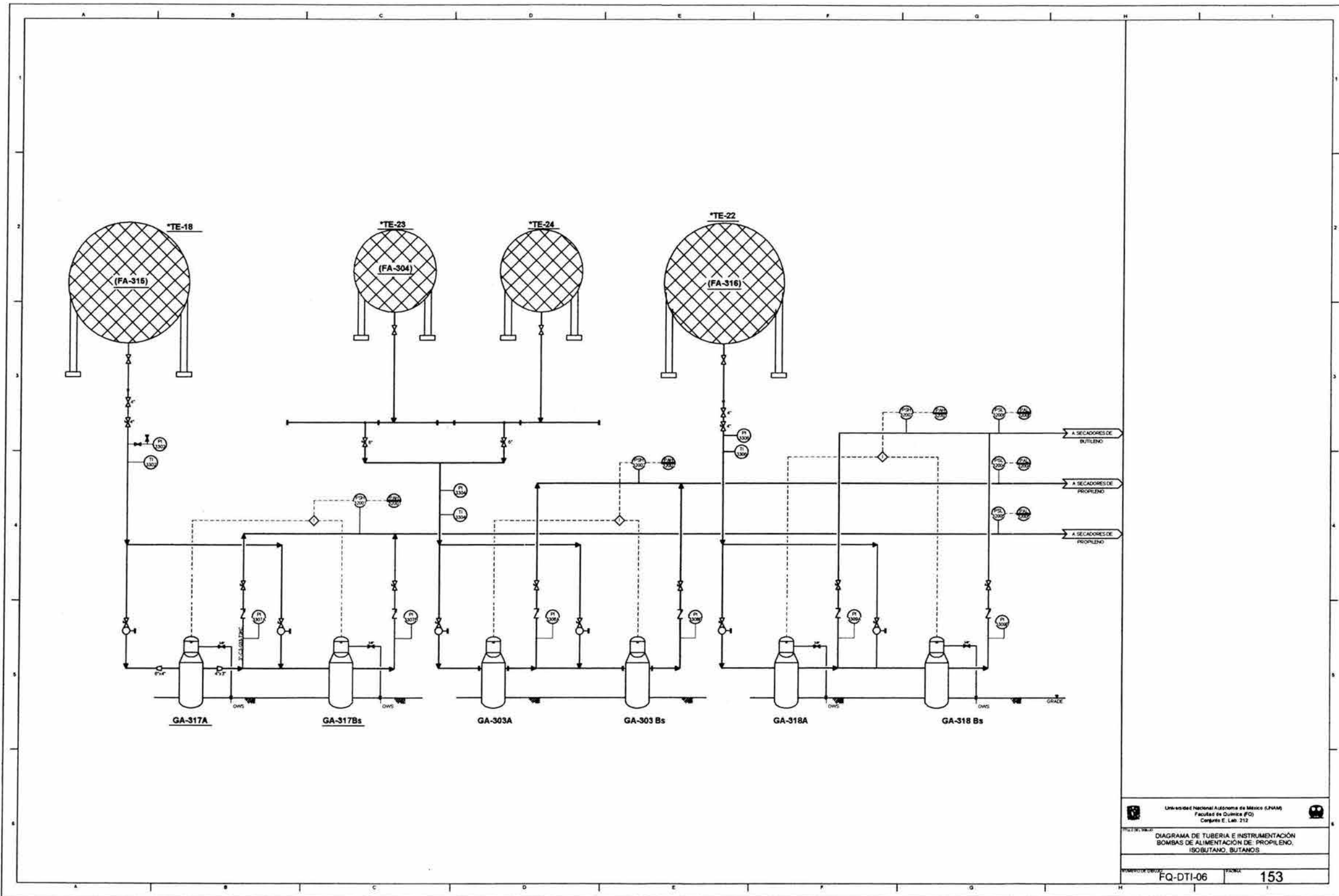
- FIRST BED OPERATION
- SECOND BED OPERATION
- ① REGENERATION SECOND BED
- ② REGENERATION FIRST BED



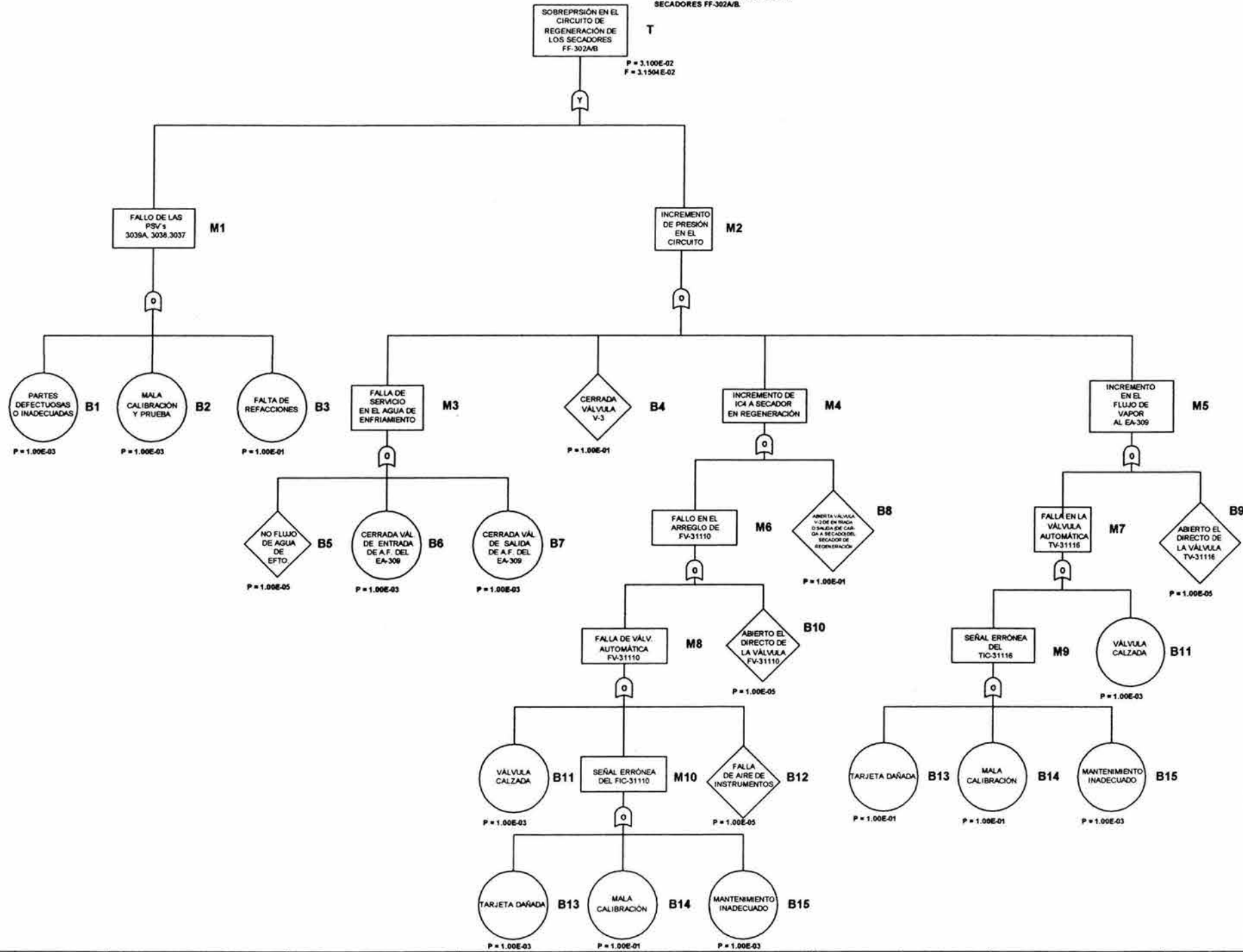
- ◇ FIRST BED OPERATION
- ◇ SECOND BED OPERATION
- ◇ REGENERATION SECOND BED
- ◇ REGENERATION FIRST BED



- FIRST BED OPERATION
- SECOND BED OPERATION
- REGENERATION SECOND BED
- REGENERATION FIRST BED



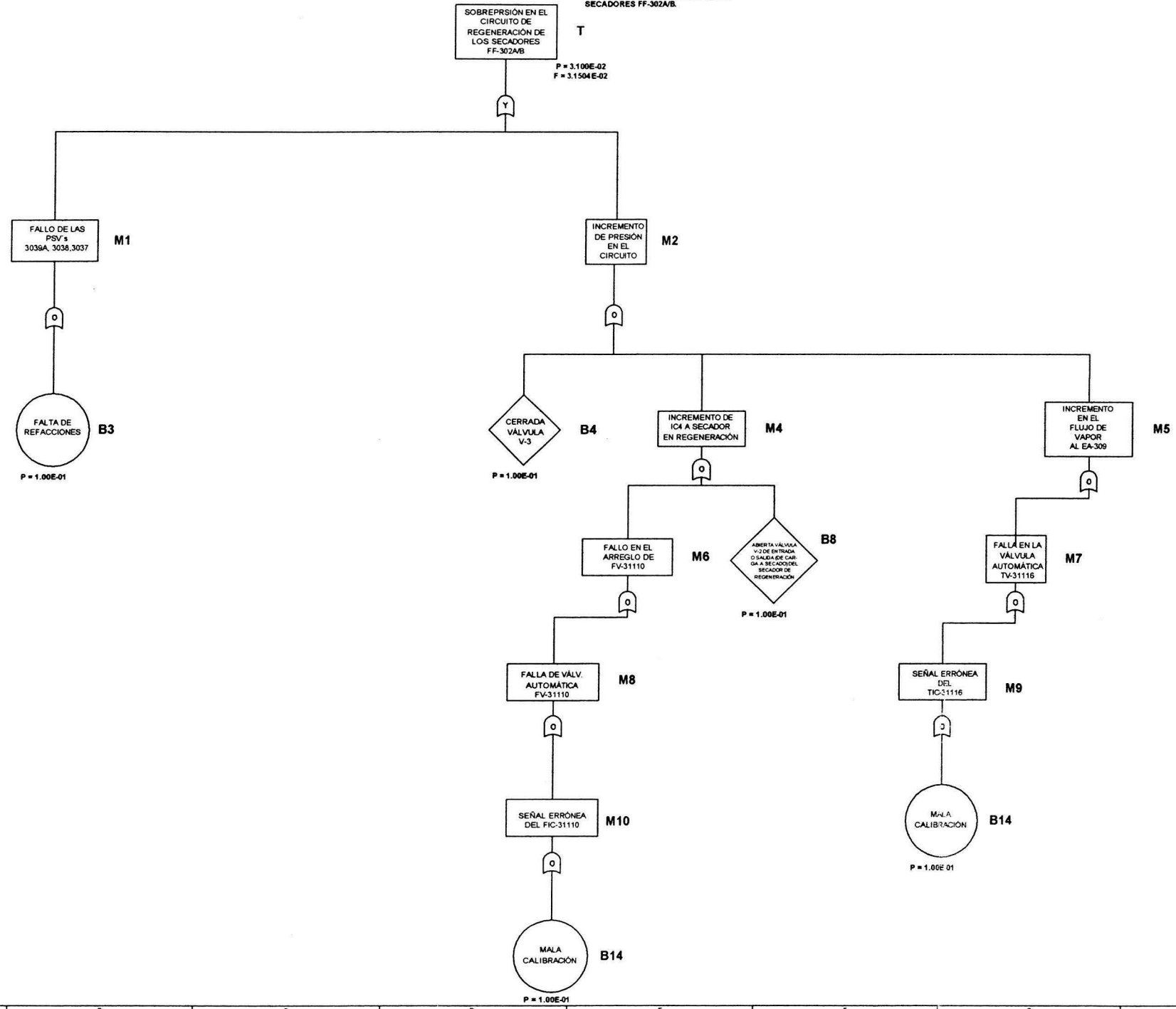
ÁRBOL DE FALLAS RESULTADO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON CONJUNTOS MÍNIMOS PARA EL EVENTO DE QUE OCURRA LA SOBREPRESIÓN EN EL CIRCUITO DE REGENERACIÓN DE LOS SECADORES FF-302A/B.



SIMBOLOGIA.

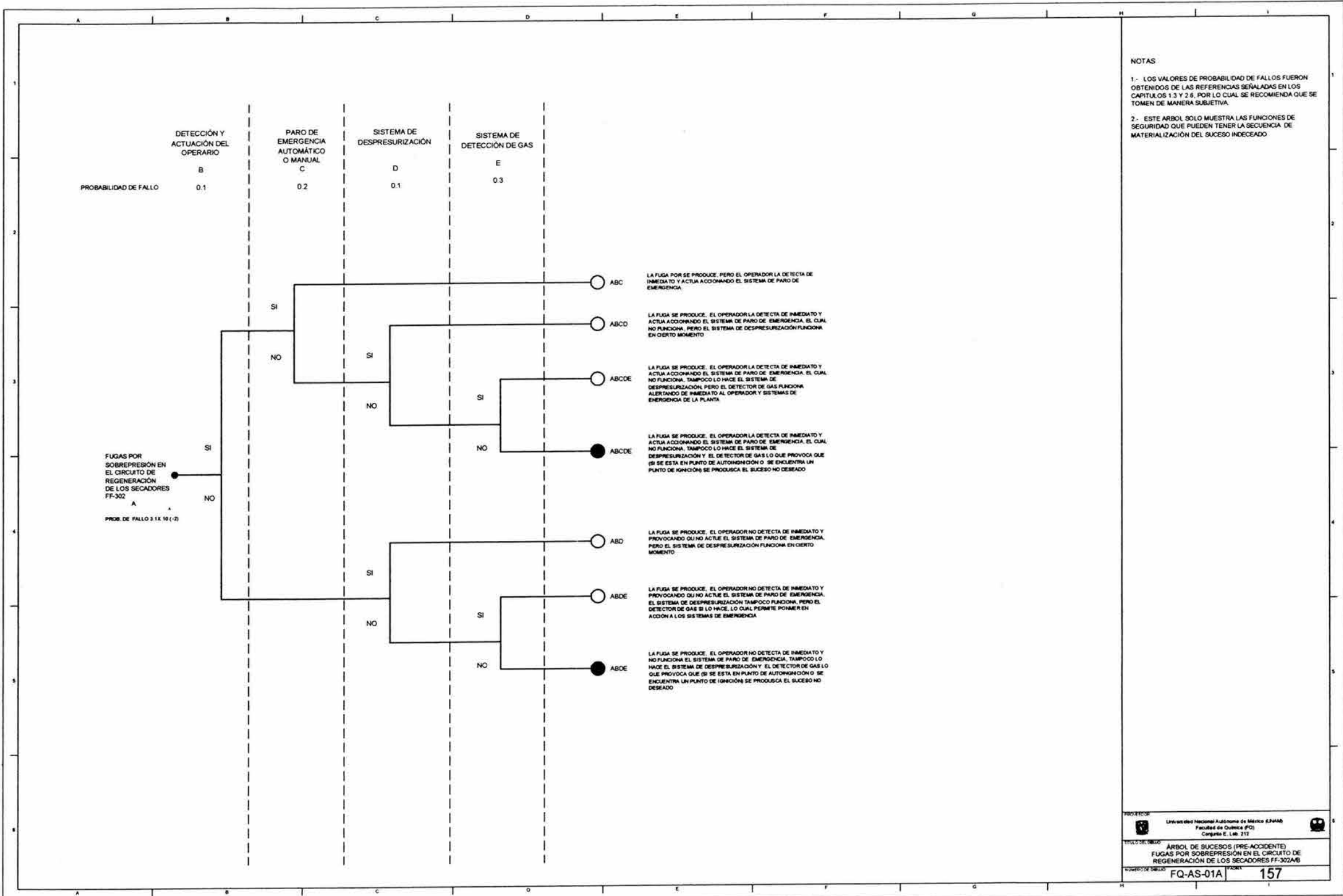
- COMPUERTA "Y"
- COMPUERTA "O"
- SUCESO CULMINANTE O INTERMEDIO.
- SUCESO BÁSICO.
- SUCESO NO DESARROLLADO.

ÁRBOL DE FALLAS RESULTADO DESPUÉS DEL TRATAMIENTO CON CONJUNTOS MÍNIMOS PARA EL EVENTO DE QUE OCURRA LA SOBREPRESIÓN EN EL CIRCUITO DE REGENERACIÓN DE LOS SECADORES FF-302A/B.



SIMBOLOGIA.

- COMPUERTA "Y"
- COMPUERTA "O"
- SUCESO CULMINANTE O INTERMEDIO.
- SUCESO BÁSICO.
- SUCESO NO DESARROLLADO.



NOTAS

- 1.- LOS VALORES DE PROBABILIDAD DE FALLOS FUERON OBTENIDOS DE LAS REFERENCIAS SEÑALADAS EN LOS CAPITULOS 1.3 Y 2.6. POR LO CUAL SE RECOMIENDA QUE SE TOMEN DE MANERA SUBJETIVA.
- 2.- ESTE ARBOL SOLO MUESTRA LAS FUNCIONES DE SEGURIDAD QUE PUEDEN TENER LA SECUENCIA DE MATERIALIZACIÓN DEL SUCEO INDESEADO.

FUGAS POR SOBREPRESIÓN EN EL CIRCUITO DE REGENERACIÓN DE LOS SECADORES FF-302
A

¿LA DESCARGA ES INSTANTÁNEA?
B

¿ES INMEDIATA LA IGNICIÓN?
C

SE PRODUCE UN GAS O VAPOR MÁS DENSO QUE EL AIRE
D

¿HAY UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO?
E

JET FIRE ABC

LA FUGA SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, LA CUAL ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO GENERANDO ASI EL FENÓMENO CONOCIDO POR JET FIRE.

UVCE ABCDE

LA FUGA SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, LA CUAL NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, PERO GENERA UNA NUBE DE VAPOR O GAS MÁS DENSO QUE EL AIRE, QUE AL ENCONTRAR UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO SE PRODUCE UNA UVCE.

COULD DISPERSION ABCDE

LA FUGA SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, LA CUAL NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, GENERANDO UNA NUBE DE VAPOR O GAS MÁS DENSO QUE EL AIRE, PERO SIN ENCONTRAR UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO, POR LO QUE SE GENERA UNA DISPERSIÓN DE NUBE DE GAS O VAPOR.

VAPOR DISPERSION ABCD

LA FUGA SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, LA CUAL NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, ADEMÁS ES UN VAPOR O GAS MENOS DENSO QUE EL AIRE, CON LO CUAL SOLO SE PUEDE SEGUIR LA DISPERSIÓN DE LOS VAPORES.

FLASH FIRE ABC

LA FUGA NO SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, PERO SI ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, POR LO QUE SE PRODUCE UN FLASH FIRE.

FIRE BALL ABCDE

LA FUGA NO SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, PERO SI ES MÁS DENSO QUE EL AIRE Y ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO, QUE PRODUCE UNA FIRE BALL.

COULD DISPERSION ABCDE

LA FUGA NO SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, PERO SI ES MÁS DENSO QUE EL AIRE Y NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO, QUE PRODUCE UNA DISPERSIÓN DE UNA NUBE DE VAPORES.

FLASH FIRE ABCD

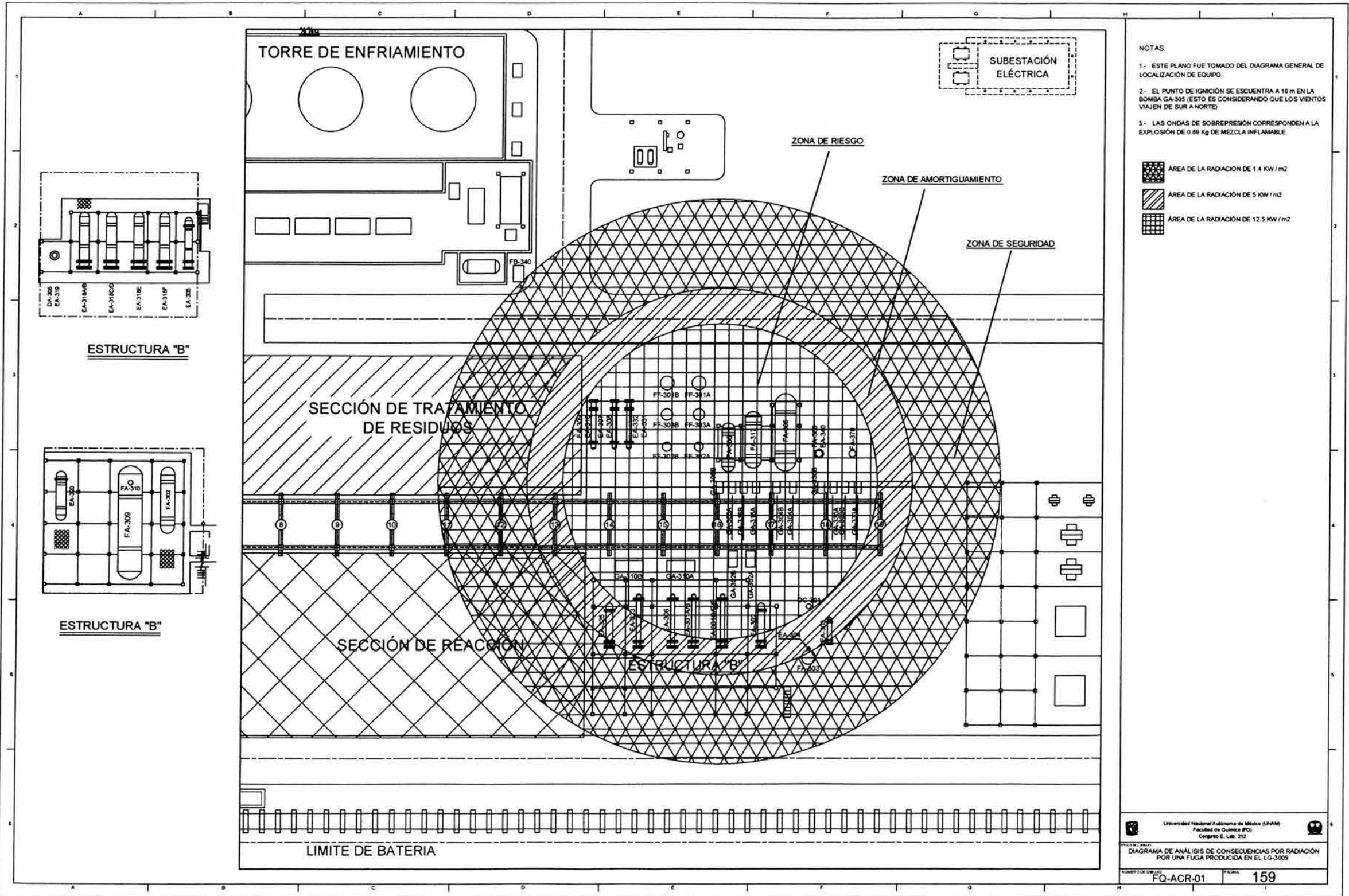
LA FUGA NO SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, NO ES MÁS DENSO QUE EL AIRE, PERO SI ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO, QUE PRODUCE UN FLASH FIRE.

VAPOR DISPERSION ABCD

LA FUGA NO SE LLEVA A CABO EN UNA DESCARGA INSTANTÁNEA, NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN DE INMEDIATO, NO ES MÁS DENSO QUE EL AIRE Y NO ENCUENTRA UN PUNTO DE IGNICIÓN CERCANO, SE PRODUCE UNA DISPERSIÓN DE VAPORES.




NOTAS

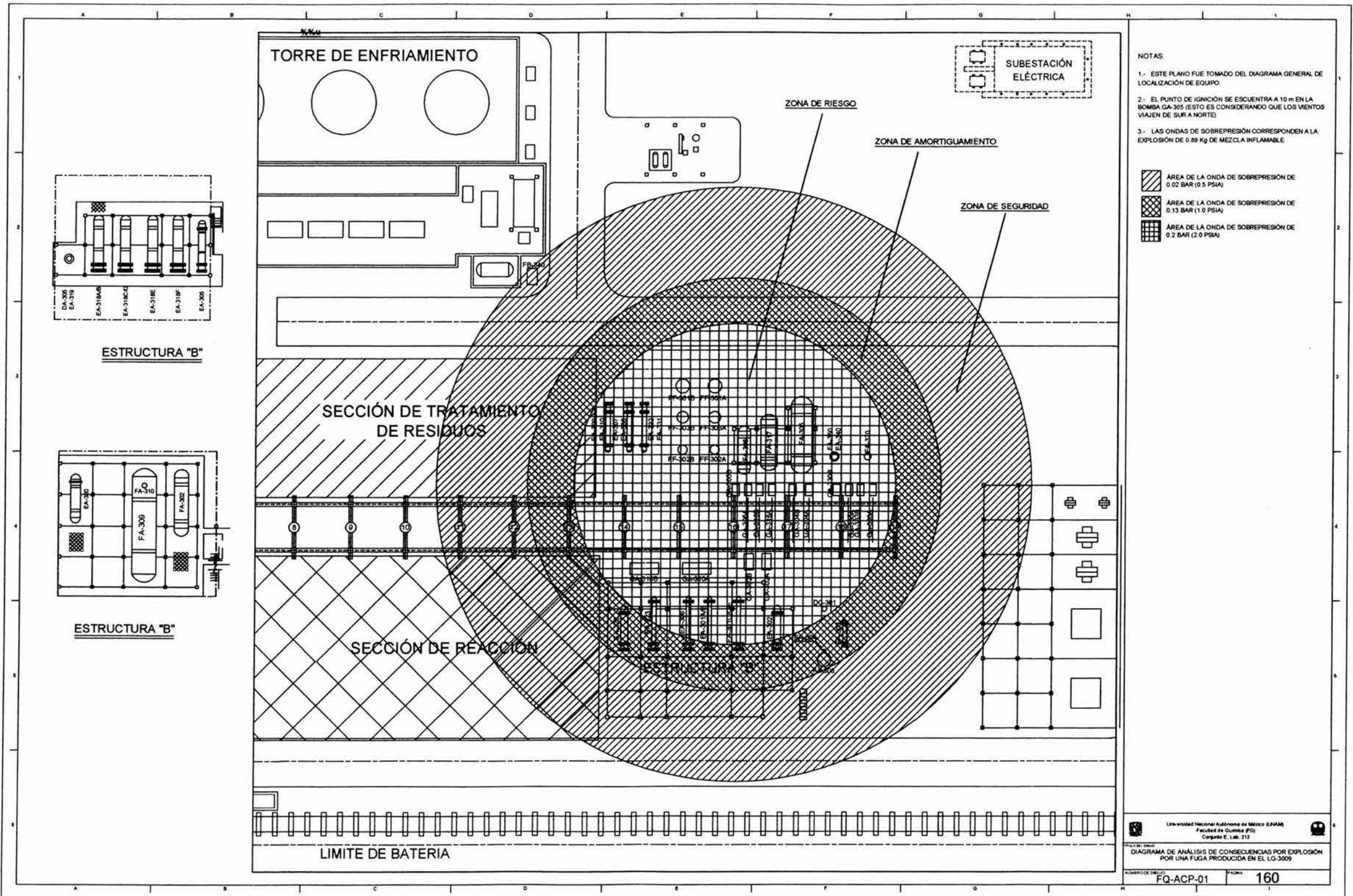
- 1.- A FALTA DE VALORES DE PROBABILIDAD DE FALLOS ESTE ÁRBOL DE SUCESOS (POST ACCIDENTE), SÓLO SE UTILIZARÁ DE MANERA CUALITATIVA.
- 2.- ESTE ÁRBOL SOLO MUESTRA LAS POSIBLES PROGRESIONES QUE TENDRÁ EL SUCESO INDESEADO.
- 3.- PARA SABER EN QUE CONSISTEN LOS SUCESOS CULMINANTES SE RECOMIENDA VER EL CAPÍTULO 1.1.4.2
- 4.-





NOTAS:

- 1- ESTE PLANO FUE TOMADO DEL DIAGRAMA GENERAL DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPO.
- 2- EL PUNTO DE IGNICIÓN SE ENCUENTRA A 10 m EN LA BOMBA GA-305 (ESTO ES CONSIDERANDO QUE LOS VIENTOS VIAJEN DE SUR A NORTE)
- 3- LAS ONDAS DE SOBREPRESIÓN CORRESPONDEN A LA EXPLOSIÓN DE 0.89 Kg DE MEZCLA INFLAMABLE.

-  ÁREA DE LA RADIACIÓN DE 1.4 KW / m²
-  ÁREA DE LA RADIACIÓN DE 5 KW / m²
-  ÁREA DE LA RADIACIÓN DE 12.5 KW / m²



- NOTAS
- 1.- ESTE PLANO FUE TOMADO DEL DIAGRAMA GENERAL DE LOCALIZACIÓN DE EQUIPO.
 - 2.- EL PUNTO DE IGNICIÓN SE ENCUENTRA A 10 m EN LA BOMBA GA-305 (ESTO ES CONSIDERANDO QUE LOS VIENTOS VIAJEN DE SUR A NORTE).
 - 3.- LAS ONDAS DE SOBREPRESIÓN CORRESPONDEN A LA EXPLOSIÓN DE 0.89 Kg DE MEZCLA INFLAMABLE

- 
 ÁREA DE LA ONDA DE SOBREPRESIÓN DE 0.02 BAR (0.5 PSIA)
- 
 ÁREA DE LA ONDA DE SOBREPRESIÓN DE 0.13 BAR (1.9 PSIA)
- 
 ÁREA DE LA ONDA DE SOBREPRESIÓN DE 0.2 BAR (2.9 PSIA)



GLOSARIO

Bomba: Un dispositivo que convierte fuerza mecánica en potencia hidráulica.

Causas: Son las razones por las que se pueden producir desviaciones, es decir es lo que hace que un accidente ocurra.

Daño: Es la consecuencia producida por un accidente sobre las personas y los bienes materiales.

Desviación: Es la variación de los parámetros (Flujo, Presión, Temperatura, Reacción, Nivel, etc.) de las condiciones normales de operación.

Electricidad Estática: La electricidad estática se genera por contacto y separación de materiales disímiles. Los principales riesgos de la electricidad estática son los incendios y las explosiones provocadas por descarga de chispas que contienen energía suficiente como para encender cualquier vapor, gas o polvo inflamable.

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

Evento no deseado: Es un acontecimiento que está fuera de control.

Fuente de ignición: Fuegos abiertos, material incandescente expuesto, arco de soldadura eléctrica, lámparas no aprobadas o cualquier chispa o llama producida por cualquier medio.

Incendio: Es la combustión descontrolada de materiales orgánicos.

Inflamabilidad: Capacidad de cualquier sólido, líquido, vapor o gas de prenderse fácilmente y seguir quemándose, especialmente de forma violenta.

Límites de Inflamabilidad: Son las concentraciones mínima y máxima de un gas o vapor inflamable entre las que puede ocurrir la inflamación.

Mantenimiento Predictivo: Un tipo de mantenimiento basado en condición, que enfatiza la detección temprana de una falla, utilizando técnicas no destructivas, como análisis de vibración, termografía y análisis de rebabas de desgaste.

Mantenimiento Preventivo: Acciones de mantenimiento desarrolladas sobre la base de un calendario o programa fijo que involucran reparaciones de rutina y reemplazo de componentes y partes de la maquinaria.

Material peligroso: Es cualquier sustancia o mezcla de sustancias que tiene la propiedad de causar daño a las personas e instalaciones.

Mezcla explosiva: Es la mezcla de un comburente (producto oxidante) y de un combustible (producto oxidable) en proporciones tales que puedan dar lugar a una reacción de oxidación muy rápida y muy viva, liberando mas energía de la que se disipa por conducción y convección. El comburente puede ser un gas (el oxígeno del aire), un líquido (peróxido) o un sólido (clorato, nitrato, etc.). El combustible puede ser un gas



(hidrógeno, vapores de gasolina, etc.), un líquido (disolvente) o un sólido (azufre, madera . . .). Todas las materias orgánicas son combustibles.

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

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

Octanaje: Es una medida de la calidad y capacidad de las gasolinas para evitar las detonaciones y explosiones en las máquinas de combustión interna, de tal manera que se libere o se produzca la máxima cantidad de energía útil.

Peligro: Es una inherente característica física o química que tiene el potencial de causar daños. La característica física se refiere a situaciones o acciones inseguras y la característica química se refiere a la naturaleza de las sustancias.

Pérdida: Es la valoración económica y no económica de todos los efectos (físicos, psicológicos, económicos, legales, funcionales, ambientales, etc.) del accidente.

Prevención: Técnica de actuación sobre los peligros con el fin de suprimirlos y evitar sus consecuencias perjudiciales. Suele englobar también el término protección. Conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de la actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.

Probabilidad: Predicción calculada de la ocurrencia de un accidente en un cierto periodo de tiempo y se expresa en fracciones de entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es 0 y la absoluta certeza es 1.

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

Punto de autoignición: Es la temperatura mínima a la que se inflama una sustancia sin aplicar una llama o chispa

Punto de ebullición: Es la temperatura a la que la presión de vapor de un líquido es igual a la temperatura de los alrededores de modo que el líquido pueda convertirse rápidamente en vapor.

Punto de Inflamación: Es la temperatura mínima a la que se inflama un material combustible en el aire y sigue quemándose independientemente de la fuente de calor.

Recomendaciones: Son todas las acciones o medidas que se pueden implementar para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurra un accidente.