



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

---

FACULTAD DE QUIMICA

"IDENTIFICACION Y EVALUACION DE RIESGOS DE  
PROCESO EN UNA PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDO"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**I N G E N I E R A Q U I M I C A**

P R E S E N T A:

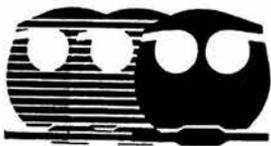
**A N A L I L I A R A M O S J A C Q U E S**



MEXICO, D.F.

EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA

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.

## JURADO ASIGNADO

Presidente	Prof.	José Antonio Ortiz Ramírez
Vocal	Prof.	Alejandro Villalobos Hiriart
Secretario	Prof.	M. Javier Cruz Gómez
1er. Suplente	Prof.	Néstor Noe López Gómez
2o. Suplente	Prof.	Ramón Ramírez Martinell

### SITIO DONDE SE REALIZÓ EL TEMA:

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

Complejo Petroquímico Cangrejera, Coatzacoalcos, Veracruz.

Asesor



Dr. M. Javier Cruz Gómez

Supervisor Técnico



Ing. Héctor Javier Cruz Campa

Sustentante



Ana Lilia Ramos Jacques

## *Dedicatoria*

Quiero agradecer a las personas que, al conocerlas, han mejorado mi vida de muchas formas; espero no olvidar a nadie.

A mi mamá, Valentina Jacques, quien me ha dado la vida y me ha apoyado tanto en mi carrera como en mi vida personal. Ella es la fuerza que me ayuda a superarme día con día.

A mi papá, Adán Ramos, que me ha enseñado el valor de ser independiente y de afrontar la responsabilidad de tomar mis propias decisiones.

A mi hermano Eduardo, quien me ha alentado a realizar los proyectos más importantes de mi vida y me ha apoyado dándome todo lo que ha podido, desde sus consejos hasta el apoyo económico que necesité para terminar mi carrera.

A mi hermano Carlos, quien me ha mostrado que la disciplina es un gran valor que debo siempre practicar. Le agradezco que siempre me de el beneficio de la duda y haya respetado mis decisiones (aunque sabe que frecuentemente son erróneas).

A mi novio, Ángel R. Hernández Martínez, quien me ha enseñado que siempre se debe ser excelente en cualquiera que sea la actividad que se realice, y me ha ayudado en los momentos difíciles, ha estado siempre presente en los momentos felices.

A mi familia, mis tíos, primos, sobrinos, que me han hecho sentir orgullosa por su fuerza ante los problemas.

A mis amigos, Rosa Isela, Danae, Paulina, Paola, Carlos, Alfredo, Karina B., Fabiola, Cecilia, Armando, Mireya, Maribel, Francisco, Sandra y Eduardo, quienes han enriquecido mi vida.

A mis compañeros del ceaspa, que me han acompañado en toda la travesía del término de mis estudios y el principio de mi vida profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, y en especial a la Facultad de Química, que por medio de sus maestros y alumnos han contribuido con mi formación tanto profesional como personal.

Al profesor, Modesto Javier Cruz por su respaldo y las facilidades que me proporcionó para la realización de este trabajo y muchos otros.

**ÍNDICE**

TEMA	PÁGINA
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>1</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>3</b>
<b>1. CAPÍTULO I – ANTECEDENTES</b>	
<b>1.1. RIESGOS DE PROCESO</b>	<b>4</b>
<b>1.2. MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS</b>	<b>5</b>
1.2.1. <i>MÉTODOS CUALITATIVOS</i>	5
1.2.2. <i>MÉTODOS SEMICUALITATIVOS</i>	7
1.2.3. <i>TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO DE TESIS</i>	9
1.2.3.1. <u>ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HazOp)</u>	9
1.2.3.1.1. GENERALIDADES	9
1.2.3.1.2. CONDICIONES PARA REALIZAR EL ANÁLISIS	9
1.2.3.1.3. ACTIVIDADES PREVIAS AL ESTUDIO	11
1.2.3.1.4. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO	12
1.2.3.2. <u>ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS</u>	13
1.2.3.2.1. GENERALIDADES	13
1.2.3.3. <u>ANÁLISIS DE ÁRBOL DE EVENTOS</u>	15
1.2.3.3.1. GENERALIDADES	15
1.2.3.4. <u>LÓGICA “Y/O”</u>	15
1.2.3.5. <u>ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS</u>	17
1.2.3.5.1. GENERALIDADES	17



TEMA	PÁGINA
1.2.3.5.2. MODELOS DE EMISIÓN	18
1.2.3.5.3. MODELOS DE DISPERSIÓN	18
1.2.3.5.4. MODELOS DE TOXICIDAD	19
1.2.3.5.4.1. NUBE TÓXICA.	19
1.2.3.5.5. MODELOS DE INFLAMABILIDAD Y EXPOSIVIDAD	20
1.2.3.5.5.1. FUEGO INSTANTÁNEO ("FLASH FIRE").	20
1.2.3.5.5.2. INCENDIO TIPO ALBERCA ("POOL FIRE")	21
1.2.3.5.5.3. DARDO DE FUEGO ("JET FIRE")	21
1.2.3.5.5.4. BOLA DE FUEGO ("FIRE BALL").	21
1.2.3.5.5.5. EXPLOSIÓN.	22
1.2.3.5.5.6. EXPLOSIÓN DE VAPORES EN EXPANSIÓN DE UN LÍQUIDO EN EBULLICIÓN ("BLEVE").	22
1.2.3.5.5.7. EXPLOSIÓN POR UNA NUBE DE VAPOR ("VCE").	22
<b>1.3. PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDO</b>	<b>24</b>
1.3.1. <i>DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA</i>	25
1.3.2. <i>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO</i>	27
<b>2. CAPÍTULO II – METODOLOGÍA EMPLEADA</b>	
<b>2.1. ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD ("HazOp")</b>	<b>28</b>
2.1.1. <i>RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN</i>	28
2.1.2. <i>DIVISIÓN DE LA PLANTA EN CIRCUITOS</i>	29
2.1.3. <i>DIVISIÓN DE LOS CIRCUITOS EN NODOS Y SELECCIÓN DE LOS NODOS SIGNIFICATIVOS</i>	29
2.1.4. <i>ANÁLISIS DE CADA NODO</i>	31
2.1.4.1. <u>ELECCIÓN DE LAS DESVIACIONES</u>	31
2.1.4.1.1. <i>ELECCIÓN DE PARÁMETROS</i>	31
2.1.4.1.2. <i>USO DE PALABRAS GUÍA</i>	31
2.1.4.2. <u>LÍMITES QUE DEFINEN LAS DESVIACIONES</u>	35
2.1.4.3. <u>IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS</u>	36
2.1.5. <i>METODOLOGÍA PARA ANALIZAR CADA CAUSA</i>	36



TEMA	PÁGINA
2.1.5.1. <u>LISTADO DE CONSECUENCIAS</u>	36
2.1.5.2. <u>DETERMINACIÓN DE RIESGO</u>	36
2.1.5.2.1. GRAVEDAD	37
2.1.5.2.2. FRECUENCIA	38
2.1.5.2.3. MATRIZ DE RIESGOS	38
2.1.5.2.4. RIESGO POTENCIAL Y REAL	39
2.1.5.3. <u>LISTADO DE PROTECCIONES</u>	39
2.1.5.4. <u>LISTADO DE RECOMENDACIONES</u>	40
2.1.5.5. <u>DETERMINACIÓN DE LA CLASE</u>	40
2.1.5.5.1. CLASES DE RIESGOS	40
2.1.5.5.2. MATRIZ DE CLASES DE RIESGOS	41
2.1.6. <i>REPORTE DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS</i>	41
<b>2.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (AAF)</b>	43
2.2.1. <i>METODOLOGÍA</i>	43
2.2.2. <i>PROBABILIDAD DE FALLA</i>	43
<b>2.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC)</b>	43
2.3.1. <i>DATOS REQUERIDOS</i>	46
2.3.2. <i>DESCRIPCIÓN DE CONSECUENCIAS</i>	47
2.3.2.1. <u>RADIACIÓN</u>	47
2.3.2.2. <u>ONDAS DE SOBREPRESIÓN</u>	47
2.3.2.3. <u>FUGAS Y DERRAMES DE SUSTANCIAS TÓXICAS</u>	51
<b>3. CAPÍTULO III – RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	
3.1. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD	54
3.2. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	66
3.3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	68



#### **4. CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES**

<b>4.1. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD</b>	<b>70</b>
<b>4.2. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS</b>	<b>71</b>
<b>4.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS</b>	<b>72</b>
<b>4.4. CONCLUSIONES GENERALES</b>	<b>74</b>

#### **APÉNDICES**

<b>1.1. INFORMACIÓN DE LA ESTABILIZADORA DE CRUDO</b>	<b>A-1.1</b>
<i>1.1.1. DESCRIPCIÓN DE FLUJO</i>	<b>A-1.1</b>
<u>1.1.1.1. SECCIÓN DE DESALADO Y CALENTAMIENTO</u>	<b>A-1.1</b>
<u>1.1.1.2. DESALADORAS FA-4005A/B</u>	<b>A-1.3</b>
<u>1.1.1.3. CALENTADORES DE CARGA BA-4001A/B</u>	<b>A-1.5</b>
<u>1.1.1.4. SECCIÓN DE ESTABILIZACIÓN Y FRACCIONAMIENTO</u>	<b>A-1.9</b>
<u>1.1.1.5. ESTABILIZADORA DA-4001</u>	<b>A-1.9</b>
<u>1.1.1.6. COMPRESOR DE GAS DE LA ESTABILIZADORA: GB-4001</u>	<b>A-1.11</b>
<u>1.1.1.7. TORRE DESBUTANIZADORA DA-4002</u>	<b>A-1.12</b>
<u>1.1.1.8. CALENTADOR DE FONDOS BA-4002</u>	<b>A-1.14</b>
<b>1.2. DIAGRAMAS</b>	<b>A-2.1.</b>
<i>1.2.1. DIAGRAMAS DE FLUJO DE PROCESO</i>	
<i>1.2.2. DIAGRAMAS DE ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS</i>	
<i>1.2.3. DIAGRAMAS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS</i>	
<b>1.3. HOJAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (“HazOp).</b>	<b>A-3.1.</b>

#### **BIBLIOGRAFÍA**

**ÍNDICE DE TABLAS**

No. DE TABLA	CONTENIDO	PÁGINA
1.1.	MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS	8
2.1.	PALABRAS GUÍA	32
2.2.	MATRIZ DE EJEMPLOS DE COMBINACIÓN DE PARÁMETROS CON PALABRAS GUÍA	33
2.3.	EJEMPLOS DE LAS DESVIACIONES PARA SECCIONES DE PROCESO	34
2.4.	TABLA DE GRAVEDAD	37
2.5.	TABLA DE FRECUENCIA	38
2.6.	CLASES DE RIESGOS	40
2.7.	POTENCIAL DE PÉRDIDA	44
2.8.	PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE	45
2.9.	REGLAS DE USO FRECUENTE EN EL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	45
2.10.	NIVELES DE RADIACIÓN	47
2.11.	NIVELES DE SOBREPRESIÓN	48
2.12.	DAÑOS EN PLANTAS Y REFINERÍAS	49-50
2.13.	LÍMITES INTERNACIONALES DE TOXICIDAD	52-53
3.1.	RECOMENDACIONES OBTENIDAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD	54-60
3.2.	BUENAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA PARA LA ESTABILIZADORA DE CRUDO	61-62
3.3.	PROBABILIDAD DE QUE OCURRA UN INCENDIO EN LAS BOMBAS GA-4001AB/R	66
3.4.	BLEVE/BOLA DE FUEGO	68
3.5.	EXPLOSIÓN INMEDIATA	68
3.6.	EXPLOSIÓN TARDÍA	69

**ÍNDICE DE FIGURAS**

No. DE FIGURA	CONTENIDO	PÁGINA
1.1.	<b>SECCIÓN DE UN ÁRBOL DE FALLAS DEL INCENDIO DE UNA BOMBA.</b>	13
1.2.	<b>EL TRIÁNGULO DE FUEGO</b>	15
1.3.	<b>SIMBOLOGÍA PARA EL ÁRBOL DE FALLAS</b>	16
1.4.	<b>TÍPICA IMAGEN DE SIMULACIÓN EN 3D DE INCENDIO TIPO ALBERCA “POOL FIRE”</b>	21
1.5.	<b>ESQUEMA DE PROCESO DE LA PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDO</b>	26
2.1.	<b>MATRIZ DE RIESGOS</b>	38
2.2.	<b>MATRIZ DE CLASES DE RIESGOS</b>	41
2.3.	<b>HOJA DE REGISTRO PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD.</b>	42
3.1.	<b>RECOMENDACIONES ENCONTRADAS POR CLASE DE RIESGO</b>	63
3.2.	<b>SECTORES A LOS QUE SE LES HICIERON RECOMENDACIONES</b>	64



## INTRODUCCIÓN

En México no se cuenta con un inventario de actividades que puedan considerarse de alto riesgo, sin embargo, algunas industrias se consideran riesgosas por procesar grandes cantidades de sustancias consideradas peligrosas o tóxicas por la ley<sup>1</sup>. Tal es el caso de la industria del procesamiento de hidrocarburos.

Sin embargo, el riesgo dentro de esa industria (e incluso en muchas otras) podría disminuirse si se tuviera la prevención y el **control** adecuado en sus plantas de proceso. La prevención se puede lograr mediante la identificación y evaluación de riesgos, que permite mitigar las consecuencias de accidentes graves tanto en las industrias mencionadas como en la industria química. Esta evaluación es, además, una herramienta útil para la toma de decisiones las plantas (por ejemplo, al decidir en que áreas hacen falta instrumentos, equipos ó personal para disminuir el riesgo; también para decidir si es necesario cambiar un equipo, darle mantenimiento ó sustituirlo).

Lo anterior demuestra la importancia de llevar a cabo la identificación y evaluación de riesgos, ya que es muy útil para mejorar la seguridad en las plantas y al mismo tiempo es una necesidad que empieza a ser reconocida por la industria del procesamiento de hidrocarburos.

### OBJETIVOS

Específicamente, los *objetivos* planteados para el trabajo de tesis son *identificar* los riesgos de una planta Estabilizadora de Crudo y encontrar *soluciones* para minimizar dichos riesgos. Así como *recomendar* buenas prácticas de ingeniería que sean aplicables a las condiciones de la planta y que de esta forma se mejore la operatividad de la misma.



También es necesario *estimar las consecuencias* de un posible accidente con las condiciones actuales de proceso.

Del mismo modo, se desea establecer un compromiso de implantación de las soluciones por parte de los encargados de la instalación, precisando los responsables de mejorar las condiciones en cada caso y la fecha en que se realizarían esas mejoras.

Para cumplir con los objetivos se seleccionaron diversas técnicas para el análisis de riesgos, tanto cuantitativas (árbol de fallas y análisis de consecuencias) como cualitativas (Análisis de Riesgos y Operatividad HAZOP), que son métodos generalizados de la identificación de riesgos. Se organizó el trabajo por etapas, que consisten en lo siguiente:

- Obtener información referente a la planta Estabilizadora de Crudo, en donde se lleva a cabo el estudio.
- Verificar que la información técnica de la planta (diagramas de flujo de proceso, diagramas de tubería e instrumentación, etc.) esté actualizada, en caso de que no esté a las condiciones actuales de proceso, actualizarla.
- Realizar el Análisis de riesgos y operatividad (HAZOP).
  - Dividir la planta en circuitos.
  - Analizar en cada circuito los equipos críticos (que representen un riesgo mayor).
  - Analizar resultados y presentar recomendaciones pertinentes basadas en los ellos.
- Analizar de forma cuantitativa las consecuencias de los sucesos indeseables (incendio, explosión, etc.) que pudieran presentarse.



- Obtener la probabilidad de que un evento culminante (que podría ser un incendio, explosión o cualquier incidente grave) ocurra, para complementar el análisis.
- Analizar los resultados obtenidos y redactar las conclusiones correspondientes.

## HIPÓTESIS

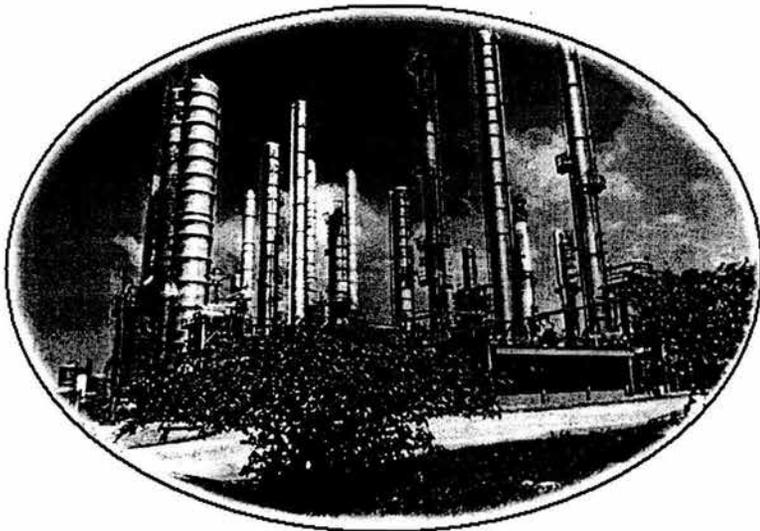
La *hipótesis* propuesta es que los resultados obtenidos por la evaluación de riesgos pondrán en evidencia que, la mayoría de los puntos a mejorar en la planta serán los que conciernen a adecuaciones por el cambio de materia prima (la planta está operando con una carga diferente a la de diseño).

El trabajo de tesis está dividido en cuatro capítulos, en los cuales se describe el estudio realizado. En el *capítulo I* se mencionan generalidades que sirven para dar el contexto de las técnicas de análisis de riesgos y explicar el proceso de la planta Estabilizadora de Crudo. Lo que corresponde a ese capítulo es la información básica para comenzar a visualizar la metodología empleada (que se explica ampliamente en el *capítulo II*). En el *capítulo III*, se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de riesgos y en el *IV* las conclusiones basadas en estos resultados.

El trabajo de tesis fue desarrollado en el edificio “E” de la Facultad de Química y en una planta Estabilizadora de crudo.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES



En este primer capítulo se explican conceptos generales antes de iniciar una evaluación como la que se realiza en el presente trabajo de tesis. Para tener un contexto de que es lo que se estará analizando en los siguientes capítulos, se menciona inicialmente que es un *riesgo de proceso*.

Posteriormente, se mencionan los métodos de identificación de riesgos que existen y en que etapa del desarrollo de la planta son aplicables. Una vez especificadas los *métodos a utilizar* (Análisis de Riesgos y Operabilidad, Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de consecuencias), se mencionan los datos generales de esos métodos.



## 1. CAPÍTULO I – ANTECEDENTES

### 1.1. RIESGOS DE PROCESO

En la introducción se mencionó la importancia de conocer y controlar los riesgos de proceso. Sin embargo, no se ha especificado formalmente a que se refieren estos riesgos. Un *riesgo* es la combinación de la probabilidad de que un evento indeseado ocurra y las consecuencias que se presentarían como resultado del evento indeseado<sup>2</sup>, es decir:

$$\text{RIESGO} = \text{PROBABILIDAD} \times \text{CONSECUENCIAS}$$

Generalmente se confunde riesgo, con peligro, pero el **peligro** es la capacidad intrínseca de una sustancia peligrosa o la potencialidad de una situación física para ocasionar daños a las personas, los bienes ó el medio ambiente<sup>3</sup>.

Aunque ya se dijo que el riesgo es una probabilidad de que se produzca un efecto específico, en un periodo de tiempo determinado; cada persona tiene una percepción diferente de los riesgos; por esta razón, la persona que realice la identificación y evaluación de riesgos de proceso *debe* ser un **experto** que para empezar considere el riesgo cuantitativamente, que tenga conocimiento de los procesos, que sea *objetivo*, lógico y realista.

Este experto, debe estar consciente de que no se pueden tener procesos que no involucren riesgos. Sin embargo, es posible minimizar y mantener el control de los riesgos procurando no crear otros riesgos adicionales.

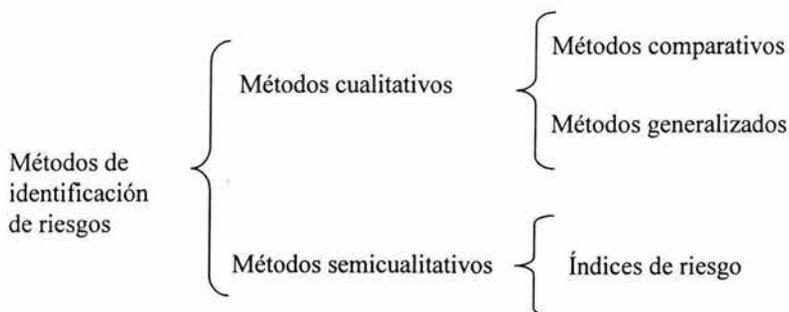
Actualmente ya se han estudiado muchas técnicas para identificar y evaluar los riesgos, todas ellas tienen ventajas y desventajas; y como se verá más adelante, cada una se usa en diferentes etapas de la planta.



La elección de las técnicas ó métodos para este trabajo de tesis no implicó una comparación exhaustiva de cada una de los métodos de análisis existentes, debido a que no está contemplado dentro de los objetivos de este trabajo. Adicionalmente, la instalación (sujeto de estudio) es una planta en operación, por lo que las técnicas usadas son aplicables en esta etapa. En este capítulo se mencionan algunos de los métodos de identificación de riesgos.

## 1.2. MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS

Su clasificación general se muestra en la siguiente figura:



### 1.2.1. MÉTODOS CUALITATIVOS

Se caracterizan por no recurrir a cálculos numéricos. Se dividen en comparativos y generalizados.

*Los métodos comparativos* se basan en la experiencia acumulada de personas que están involucradas directamente con los procesos, así como en el análisis de sucesos que hayan ocurrido en establecimientos parecidos al que se analiza.



Ejemplos de estos métodos comparativos:

- Manuales técnicos ó códigos, estándares y normas de diseño (CEN)
- Lista de verificación (LV).
- Análisis Histórico de Accidentes (AHA)
- Revisiones de Seguridad (RS).
- Auditorias de seguridad (AS).

Los *métodos generalizados* se basan en estudios de las instalaciones y procesos mucho más estructurados que los métodos comparativos. Normalmente siguen un procedimiento lógico de deducción de fallos, errores, desviaciones en equipos, instalaciones, procesos, operaciones, etc. que trae como consecuencia la obtención de determinadas soluciones para este tipo de eventos. Algunos de ellos son:

- Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).
- Análisis de Modo y Efecto de las fallas (AMFE)
- Análisis de Árbol de Fallas (AAF).\*
- Análisis de Árbol de Eventos (AAE).\*
- Análisis “Qué pasa si...” (“What If...”, WI).
- Análisis de causa-efecto (ACE).
- Análisis de Confiabilidad Humana (ACH).
- Análisis de Consecuencias (AC).\*

\*Los métodos señalados son semicuantitativos además de generalizados.

*La desventaja de los métodos más exactos, es que tienden a encubrir eventos inusuales e inesperados que, aunque tienen baja probabilidad de ocurrir, podrían tener consecuencias severas.*<sup>2</sup>



### 1.2.2. MÉTODOS SEMICUALITATIVOS

Hay métodos que introducen una valoración cuantitativa respecto a las frecuencias de ocurrencia de un determinado suceso y se denominan métodos para la determinación de frecuencias, o bien se caracterizan por recurrir a una clasificación de las áreas de una instalación en base a una *serie de índices* que cuantifican daños. Los índices de riesgo (IR) no se utilizan para estimar riesgos individuales, sino que proporcionan valores numéricos que permiten identificar áreas o instalaciones de un establecimiento industrial en las que existe un riesgo potencial y valora su nivel de riesgo.

Los principales índices de riesgo (**IR**) son los siguientes:

- Índice Dow (ID).
- Índice Mond (IM).

Ambos métodos se basan en la asignación de penalizaciones y/o bonificaciones<sup>2</sup> a las instalaciones de un determinado establecimiento. Las penalizaciones se asignan en función de las sustancias peligrosas presentes y de las condiciones de proceso. Las bonificaciones tienen en cuenta los elementos de seguridad instalados para prevenir los efectos de posibles accidentes. La combinación de ambas lleva a la determinación de un índice de una instalación.

Estos índices y los métodos mencionados anteriormente, se aplican en distintas etapas de la planta, por lo que la elección del método debe estar en base a las necesidades y situación actual de la instalación. La siguiente tabla los condensa y muestra en que etapa son aplicables comúnmente.

**TABLA 1.1.-MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE RIESGOS<sup>4</sup>**

ETAPA	CEN	LV	AHA	RS	AS	HazOp	AMFE	AAF	AAE	WI	ACE	ACH	AC	IR
Diseño conceptual (Ingeniería básica)	X	X								X				X
Ingeniería de detalle	X	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Operación de Planta Piloto		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Construcción, pre-arranque / arranque	X	X		X	X	X				X	X	X	X	
Operación de Planta Industrial	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Modificación / cambio / expansión	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Investigación de incidentes	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Paro / desmantelamiento	X	X	X	X	X					X		X		

A continuación se hace mención de los tres métodos generalizados usados en este trabajo de tesis, sin embargo la descripción detallada se encuentra en el capítulo II (metodología empleada).



### 1.2.3. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL TRABAJO DE TESIS

#### 1.2.3.1. ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HazOp)

##### 1.2.3.1.1. GENERALIDADES

El análisis HazOp fue desarrollado originalmente en Gran Bretaña por ingenieros de "Imperial Chemical Industries" (ICI) en 1963, debido al aumento de riesgos por la complejidad de los procesos químicos tanto en la operación como en la automatización. Se reconoció que los accidentes eran resultado de una cadena lógica de causas y circunstancias, que podían evitarse o por lo menos reducir su gravedad o frecuencia. Posteriormente la técnica fue definida por el "American Institute of Chemical Engineers" en su centro para la seguridad de procesos químicos ("Center for Chemical Process Safety").<sup>2</sup>

##### 1.2.3.1.2. CONDICIONES PARA REALIZAR EL ANÁLISIS

El Análisis de Riesgos y Operabilidad es una herramienta muy útil cuando se usa apropiadamente pero no funciona cuando la información del área de estudio no está actualizada ó cuando en la planta no se siguen los lineamientos básicos de seguridad (esto último no es el caso de la instalación analizada, por lo que los resultados obtenidos por medio del análisis de riesgos y operabilidad serán importantes).

Como ya se señaló en la tabla 1.1. esta técnica se puede aplicar a diversas etapas de la vida de la planta, y es muy recomendable llevarla a cabo antes de hacer modificaciones en la planta.

Anteriormente este método tenía que ser realizado por expertos con un conocimiento amplio en muchas ramas de la ingeniería y en la técnica.



A medida que esta técnica fue estudiada, se facilitó la aplicación del método y ahora el estudio puede realizarse con un equipo formado por especialistas en distintas disciplinas, el cual está integrado por *personas* que tengan **experiencia en**:

- Operación,
- Seguridad,
- Mantenimiento mecánico,
- Mantenimiento eléctrico,
- Mantenimiento a plantas,
- Mantenimiento civil,
- Mantenimiento de instrumentación,
- Ecología,
- El método de análisis de riesgos y operabilidad, HazOp,
- Registro de datos.

El coordinador del grupo es esa persona que tiene experiencia en el método de análisis de riesgos y la persona con experiencia en el registro de datos es quien ordena y registra la información obtenida.

Algunos de ellos solo participan parcialmente pero se mantienen disponibles para consultas. También es importante mantener el equipo en un número adecuado de personas de forma que todos los miembros del equipo puedan participar, es decir debe ser entre *cinco y siete* personas.

El análisis de riesgos y operabilidad consiste en identificar:

- Desviaciones de la intención del diseño de la planta y de sus procedimientos.
- Causas y consecuencias de dichas desviaciones.
- Sistemas de protección instalados para reducir la probabilidad de la causa o la magnitud de la consecuencia.



También consiste en hacer recomendaciones para disminuir el riesgo, según sea necesario, e identificar el nivel de riesgo que represente el caso analizado.

#### 1.2.3.1.3. ACTIVIDADES PREVIAS AL ESTUDIO

Estas actividades preparatorias deben realizarse entre un día y una semana:

- ⊕ Recopilar los documentos necesarios para realizar el estudio.
  - Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's que son la base para realizar el estudio).
  - Diagramas de flujo de proceso (DFP's)
  - Descripción general del proceso.
  - Manuales de operación y procedimientos operacionales y de emergencia.
  - Información de procesamiento de materiales (hidrocarburos) y hojas de datos de seguridad de las sustancias que se encuentran en el área de estudio.
  - Especificaciones de equipos y materiales.
  - Censo de válvulas de seguridad (Pressure Safety Valves, PSV's)
  - Historial de incidentes.
- ⊕ Verificar que los documentos anteriores estén actualizados.
- ⊕ Proponer horarios para realizar el estudio.
- ⊕ Definir la técnica para registrar la información (programa de computadora u hojas de registro).
- ⊕ Mencionar condiciones o equipos críticos detectados.
- ⊕ Marcar los circuitos que van a ser estudiados en los DTI's.
- ⊕ Dar una introducción de la técnica de análisis de riesgos y operabilidad ("HazOp") a los miembros del equipo.
- ⊕ Acordar el sistema o metodología a seguir antes de empezar el estudio.



---

#### 1.2.3.1.4. ORGANIZACIÓN DEL ESTUDIO

Normalmente el estudio se realiza en sesiones en las que se pretende llevar a cabo las actividades que se listan enseguida.

- Presentación de los miembros del equipo que llevará a cabo el análisis.
- Metodología “HazOp”. Se hace una presentación de la metodología utilizada, para que los miembros del equipo tengan en mente la forma efectiva de realizar el estudio.
- Propiedades de materiales peligrosos. El encargado de seguridad o una persona que tenga conocimiento de los materiales peligrosos explica que sustancias se utilizan en el proceso estudiado.
- Identificación de riesgos. Una identificación preliminar ayuda al equipo de trabajo a enfocarse en las áreas importantes de estudio.
- Propuesta de una meta para el análisis de riesgos.
- Elaboración de una matriz de riesgos (se describe en el capítulo II) que cubra las necesidades de la planta.
- Descripción del proceso. El ingeniero de proceso explica el proceso en general para familiarizar a los miembros equipo de trabajo con los escenarios que se presentan en el proceso.
- Visita a la planta. Se realiza para tener un panorama del proceso y los servicios auxiliares.
- Reuniones del equipo de análisis de riesgos. Se analiza detalladamente el proceso.
- Reporte preliminar.
- Reporte final.





Esta técnica fue desarrollada en los sesenta por los Laboratorios Bell durante el proyecto del misil Polaris. Fue aplicada inicialmente en la industria aeroespacial y posteriormente fue aplicada en las industrias nucleares y de procesos químicos. La técnica es muy rigurosa y requiere de tiempo, pero esto depende del nivel de detalle y la extensión del sistema que se esté analizando.

El *Análisis de Árbol de Fallas*<sup>2</sup> es un proceso deductivo que permite determinar como puede tener lugar un evento particular (evento indeseable ó *accidente grave* como un incendio, explosión, etc.). Es un método estructurado y sistemático que puede ser usado en un sistema sencillo o para múltiples sistemas.

Puede dar resultados tanto cualitativos como cuantitativos. Dicho análisis descompone un accidente (ver definición) en sus elementos raíz. El resultado es una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar el evento culminante que ocupa la cúspide del árbol.

### ACCIDENTE GRAVE

Un accidente grave<sup>5</sup> se define como cualquier suceso, tal como una emisión en forma de fuga o derrame, incendio o explosión importantes, que sea consecuencia de un proceso no controlado durante el funcionamiento de una instalación (planta de proceso) que suponga una situación de grave riesgo, inmediato o diferido, para las personas, los bienes y el medio ambiente. Puede ocurrir al interior o al exterior del establecimiento, y pueden estar implicadas una o varias sustancias peligrosas.

La técnica de análisis de árbol de fallas, está normalmente asociada a otra (muy similar) llamada Análisis de Árbol de Eventos (Event Tree Análisis, ETA) que es un método que ayuda a determinar la probabilidad de que ocurra un evento de forma similar al análisis de árbol de fallas.



### 1.2.3.3. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE EVENTOS

#### 1.2.3.3.1. GENERALIDADES

Este método es usado para analizar un accidente como una secuencia de eventos, con diversos sistemas o acciones operacionales que pueden fallar o ser exitosas pero que desencadenen consecuencias severas. Esta técnica se usa en conjunto con el árbol de fallas para obtener un análisis de riesgos semicuantitativo.

#### 1.2.3.4. LÓGICA “Y/O”

Los modelos lógicos definen las relaciones entre eventos simples que se combinan para dar origen a otros eventos. Un ejemplo de una relación lógica sencilla es el triángulo de fuego que se muestra en la figura 1.2. Para que exista fuego deben ocurrir tres eventos; debe haber suficiente combustible, suficiente aire y suficiente calor (fuente de ignición).



Fig. 1.2. El triángulo de fuego

Para prevenir o detener el fuego, alguno de estos tres eventos debe ser eliminado. Esta es una relación lógica definida por el *operador lógico “y”*, es decir, el fuego se produce por el oxígeno y el combustible y la fuente de ignición.



Para ejemplificar de manera sencilla el siguiente operador lógico utilizado, *el operador "o"* se utiliza el evento de que un automóvil no encienda. Las causas de este evento pueden ser que la batería no funcione o un problema en el switch de ignición o que el tanque de gasolina esté vacío, etc. Al utilizar este operador, se ve que no es necesario que todo lo mencionado ocurra; el hecho de que el automóvil no encienda puede deberse a una o varias de las causas anteriormente mencionadas.

**Los operadores lógicos** se usan para construir los árboles de fallas y eventos. Los símbolos típicos usados en estos diagramas se muestran en la siguiente figura.

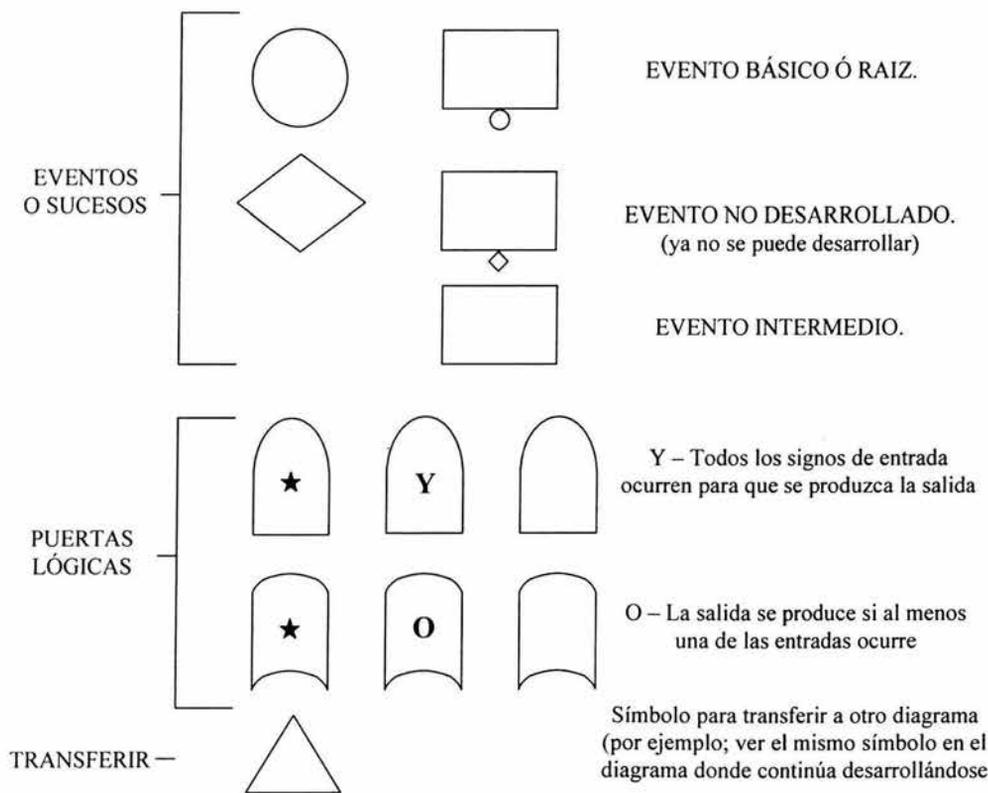


Fig. 1.3. Simbología para el árbol de fallas



### 1.2.3.5. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

#### 1.2.3.5.1. GENERALIDADES

Se entiende por análisis de consecuencias la evaluación cuantitativa de la evolución de un accidente grave (la definición de accidente grave está en el punto anterior), es decir la evolución de los eventos en los que intervienen sustancias peligrosas, y sus posibles efectos sobre las personas, el medio ambiente y los bienes, con el fin *de estimar la naturaleza y magnitud del daño*.

También por medio del análisis de consecuencias se evalúan los sistemas de seguridad existentes en la instalación ó el diseño de nuevos procesos.

Para realizar una **estimación** de estas consecuencias se usan modelos matemáticos que simulen el incidente. Éstos están constituidos por ecuaciones empíricas o fundamentos que representan los procesos fisicoquímicos involucrados y dan como resultado *información* que puede ser utilizada para la implementación de las medidas de seguridad adecuadas. Por ejemplo, si se simula *la descarga de materiales* (una fuga o derrame de algún fluido), se obtendrá la velocidad de descarga del material, la cantidad total descargada y el estado físico del material descargado.

La mayoría de los modelos tienden a maximizar la tasa de descarga y la cantidad descargada para que los resultados obtenidos sean confiables. El material descargado puede estar en diferentes estados físicos, y de esta manera representar un peligro; puede ser un líquido presionado, un líquido no presurizado, un vapor o gas presurizado, etc.

Por medio de las herramientas matemáticas es posible establecer el área de afectación que se tendría como consecuencia de un accidente grave. Para facilitar el análisis, ya se cuenta con una gran variedad de programas que contienen estos modelos matemáticos.



Para el análisis de consecuencias en la planta Estabilizadora de crudo se usó un software cuyo paquete de simulación incluye los modelos de:

- ◆ Emisión,
- ◆ Dispersión,
- ◆ Toxicidad e
- ◆ Inflamabilidad y explosividad.

#### 1.2.3.5.2. MODELOS DE EMISIÓN

Estos modelos son aplicables (pueden ser utilizados) en cualquiera de los siguientes casos;

##### Emisiones:

- Con flujos líquidos, gaseosos ó en dos fases.
- De materiales puros o mezclas.
- En una tasa constante ó variable.
- En el interior de edificaciones.

Estos modelos predicen el gasto másico y el estado físico del material, considerando los flujos que ya se mencionaron y clasifica *el tipo de emisión* de la siguiente forma:

- Emisión instantánea o catastrófica, en la cual se libera el total del material almacenado y se expande en todas direcciones.
- Fuga por orificio, en la cual se considera un orificio circular y si existe cambio de fase, éste se lleva a cabo fuera del orificio.
- Emisión por tuberías, el cual considera la ruptura total de la tubería y en caso de existir cambio de fase se considera que éste se lleva a cabo dentro de la tubería.

#### 1.2.3.5.3. MODELOS DE DISPERSIÓN

El modelo de dispersión describe el proceso mediante el cual el material fugado a la atmósfera es diluido por el aire y transportado a alguna parte desde su origen. El grado de



dilución depende principalmente de la turbulencia presente, ya sea por las condiciones atmosféricas o por la fuga en sí misma y de la densidad de la nube formada.

También pueden modelarse eventos instantáneos (pérdidas de contención catastróficas) y eventos que están cambiando con el tiempo.

Estos modelos son usados para predecir:

- Formación de aerosoles.
- Condensación y formación de charcos.
- Nubes densas.
- Nubes pasivas (neutras, que se aplica el modelo gaussiano de difusión)<sup>3</sup>.

#### 1.2.3.5.4. MODELOS DE TOXICIDAD

Estos modelos son aplicables (pueden ser utilizados) en cualquiera de los siguientes casos:

- ☐ Concentraciones como función de la distancia a favor del viento.
- ☐ Concentraciones como función del tiempo en cualquier punto de nube.
- ☐ Comportamiento de las concentraciones dentro de edificaciones.
- ☐ Carga tóxica en la nube.

##### 1.2.3.5.4.1. NUBE TÓXICA

En los casos en que una fuga de material tóxico no sea detectada y controlada a tiempo, se corre el riesgo de la formación de una nube de gas tóxico que se dispersará en dirección de los vientos dominantes, y su concentración variará en función inversa a la distancia que recorra. Los efectos tóxicos de exponerse a estos materiales dependen de la concentración del material en el aire y de su toxicidad.



## 1.2.3.5.5. MODELOS DE INFLAMABILIDAD Y EXPLOSIVIDAD

Los efectos generados por materiales inflamables son:

- Niveles de radiación térmica.
- Zonas de deflagración.
- Niveles de sobrepresión.

Hay diversos tipos de incendio que pueden presentarse, entre los cuales se mencionan más adelante:

- ◇ Fuego instantáneo ó llamarada (“Flash Fire”).
- ◇ Incendio tipo alberca (“Pool Fire”).
- ◇ Dardo de fuego (“Jet Fire”).
- ◇ Bola de fuego (“Fire Ball”).
- ◇ Explosión.
  - Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición (“BLEVE”).
  - Explosión por una Nube de Vapor (“VCE”).

## 1.2.3.5.5.1. FUEGO INSTANTÁNEO (“FLASH FIRE”)

Cuando un material volátil e inflamable es descargado a la atmósfera, se forma una nube de vapor y se dispersa. Si el vapor resultante encuentra una fuente de ignición antes de que la dilución de la nube sea menor al límite inferior de inflamabilidad, ocurre el un fuego instantáneo. Las consecuencias primarias de este incidente son radiaciones térmicas generadas durante el proceso de combustión. Este proceso tiene una corta duración y los daños son de baja intensidad. Los efectos por sobrepresión son despreciables, sólo son considerables los efectos de radiación.



## 1.2.3.5.5.2. INCENDIO TIPO ALBERCA (“POOL FIRE”)

Ocurre cuando un líquido inflamable se fuga de un tanque de almacenamiento o una tubería, se forma una alberca o charco. Al estar formándose el charco, parte del líquido se comienza a evaporarse siempre y cuando los vapores se encuentren sobre su límite inferior de inflamabilidad y con una fuente de ignición se forma un incendio. Es decir se denomina “incendio tipo alberca ó charco de fuego” a la combustión del vapor que emana de un líquido combustible.

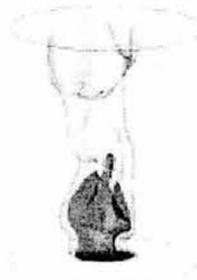


Fig. 1.4. Típica imagen de simulación en 3D de incendio tipo alberca “Pool Fire”<sup>6</sup>.

## 1.2.3.5.5.3. DARDO DE FUEGO (“JET FIRE”)

Si un gas licuado o comprimido es descargado de un tanque de almacenamiento o una tubería (descargado a través de un orificio o ruptura) formaría una descarga a presión del tipo chorro (“Gas Jet”), que se mezcla con el aire del ambiente. Si el material entra en contacto con una fuente de ignición, entonces ocurre un dardo de fuego (ó “Jet Fire”).

## 1.2.3.5.5.4. BOLA DE FUEGO (“FIRE BALL”)

Este incidente resulta de la ignición de una mezcla líquido/vapor inflamable y sobrecalentada que es descargada a la atmósfera. Ocurre frecuentemente seguido de una Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición (“BLEVE”).



## 1.2.3.5.5.5. EXPLOSIÓN

Una explosión es una descarga de energía que causa un cambio transitorio en la densidad, presión y velocidad del aire alrededor del punto de descarga de energía. Existen *explosiones físicas*, que son aquellas que se originan de un fenómeno estrictamente físico como una ruptura de un tanque presurizado o una explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición (“BLEVE”). El otro tipo de *explosiones* son las *químicas*, que tienen su origen en una reacción química como la combustión de un gas inflamable en el aire.

1.2.3.5.5.6. EXPLOSIÓN DE VAPORES EN EXPANSIÓN DE UN LÍQUIDO EN EBULLICIÓN  
 (“BLEVE”)

Ocurre cuando en forma repentina se pierde el confinamiento de un recipiente que contiene un líquido sobrecalentado o licuado a presión. La causa inicial de una explosión de este tipo es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente sobre el nivel del líquido, esto hace fallar el material y permite la repentina ruptura de las paredes del tanque.

Puede ocurrir como resultado de cualquier mecanismo que ocasione la falla repentina de un recipiente y permita que una parte del líquido sobrecalentado cambie de fase instantáneamente. Si el material líquido/vapor descargado es inflamable, la ignición de la mezcla puede resultar en una bola de fuego (“Fire Ball”).

## 1.2.3.5.5.7. EXPLOSIÓN POR UNA NUBE DE VAPOR (“VCE”)

Puede definirse simplemente como una explosión que ocurre en el aire y causa efectos de sobrepresión. Comienza con una descarga de una gran cantidad de líquido o gas vaporizado de un tanque o de una tubería, después se dispersa en la atmósfera.



De toda la masa de gas que se dispersa sólo una parte de esta se encuentra dentro de los límites superior e inferior de explosividad, y esa masa es la que después de encontrar una fuente de ignición genera sobrepresiones por la explosión. Este evento se puede generar tanto en lugares confinados como en no confinados.

*El software* utilizado presenta los resultados, en base a los modelos anteriores (muestra las consecuencias más probables). Los diversos tipos de accidentes graves a considerar en una instalación en la que haya sustancias peligrosas pueden producir determinados **fenómenos peligrosos** para las personas, el medio ambiente y los bienes materiales, como:

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

Estos se explican con detalle en el capítulo II.



### 1.3. PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDO.<sup>7</sup>

La refinación es el conjunto de procesos físicos y químicos a los que se somete el petróleo crudo para obtener de él, por destilación, los diversos productos petrolíferos con propiedades físicas y químicas bien definidas.

Tiene el propósito de separar las diversas fracciones del petróleo para facilitar su uso práctico. Los procedimientos de refinación, convencionalmente, pueden dividirse en tres grandes grupos:

1. *Procesos de destilación del petróleo crudo*, que consiste en elevar temperaturas para que los componentes ligeros se evaporen y a continuación sean condensados, separándolos. Así se obtienen distintos condensados cuyas propiedades corresponden a las del gas licuado, las gasolinas, las kerosinas y el diesel.
2. *Procesos de desintegración*, en donde el residuo de la destilación del crudo se somete a una nueva destilación al vacío para separar componentes menos volátiles que de acuerdo con sus propiedades, son destinados a lubricantes o a ser desintegrados catalíticamente. El residuo de la destilación al vacío es el asfalto, o bien, carga para la planta de coque.
3. *Procesos de purificación, hidrodeshulfuración y endulzamiento*, que eliminan, de los productos obtenidos por destilación o por desintegración, algunos compuestos que pueden afectar a los productos finales.

La instalación analizada en este trabajo de tesis, la planta *Estabilizadora de crudo*, está dentro del primer grupo. A continuación se describe en forma general el proceso que se lleva a cabo en esta planta.



### 1.3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA

La operación de las instalaciones del complejo petroquímico en donde se encuentra la planta se inició durante el período de 1980-1985. La planta estabilizadora de crudo tiene capacidad para estabilizar 200,000 BPD de Crudo tipo Cactus-sitio Grande.

Fue diseñada para procesar crudo Olmeca de 39 °API y se había estado operando con crudo Istmo de 32 °API. En mayo de 1998 se inició el procesamiento de una mezcla de crudos Istmo y Maya, incrementando cada vez más el porcentaje de crudo Maya hasta que en junio del mismo año se inició la operación con 100 % crudo Maya (22 °API). Actualmente se procesan 160,000 BPD ese crudo.

La estabilización se lleva a cabo mediante destilación atmosférica convencional, condicionada a separar del crudo los hidrocarburos  $C_8$  y más ligeros, mismos que se fraccionan posteriormente para obtener dos cortes, uno de  $C_1-C_4$  y otro de  $C_5-C_8$  (nafta desbutanizada), que se enviarán como alimentaciones a las plantas Fraccionadora de Hidrocarburos e Hidrodesulfuradora de Naftas, respectivamente.

Las secciones principales de la planta son:

- Carga y precalentamiento.
- Desalado.
- Estabilizado.
- Desbutanizado.

Estas secciones se ilustran en la figura 1.5. que es un esquema simplificado del proceso de la planta Estabilizadora de crudo.

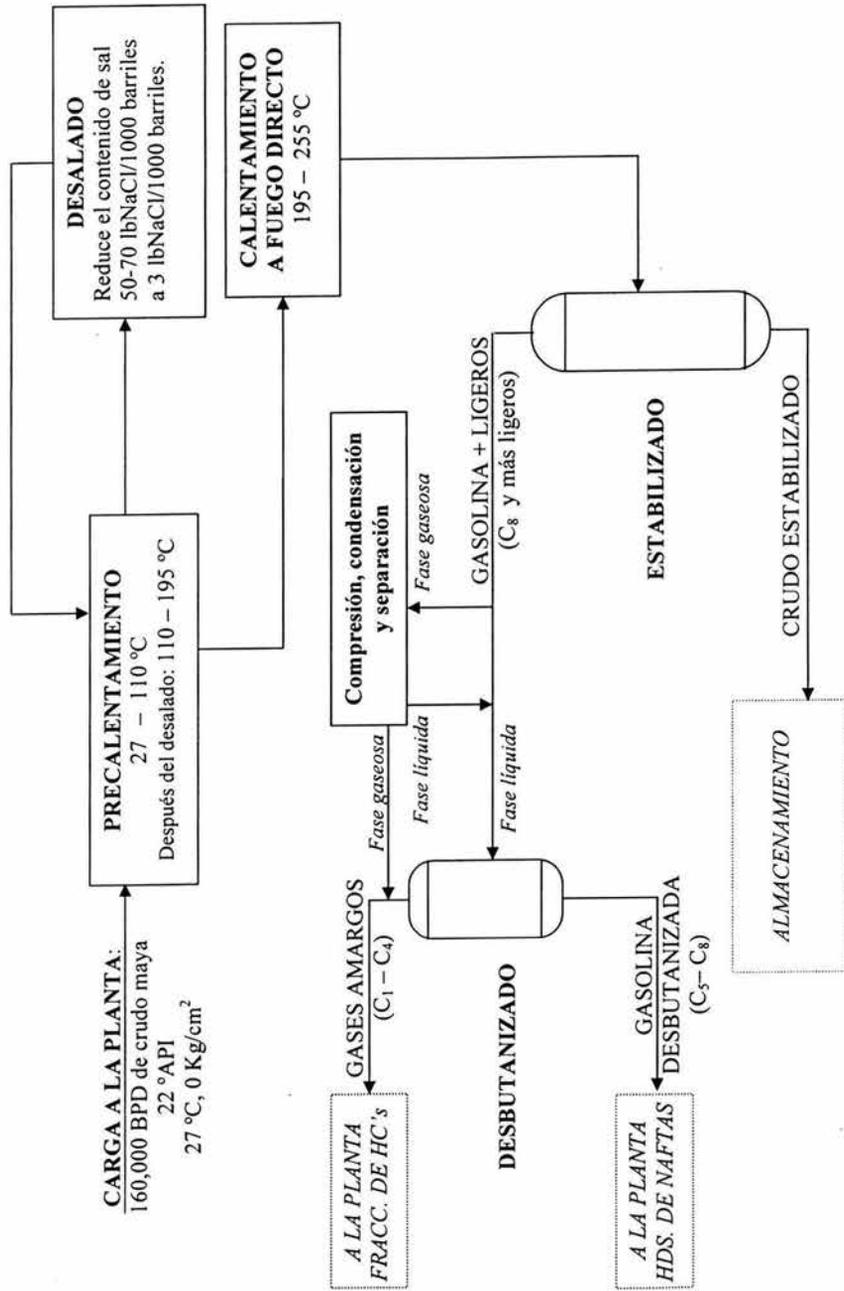


Figura 1.5. Esquema de proceso de la planta Estabilizadora de Crudo



### 1.3.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

El proceso se inicia con el precalentamiento del crudo a través de dos trenes de precalentamiento. En los trenes de precalentamiento se lleva a cabo el desalado del crudo con las desaladoras FA-4005A/B que reducirán el contenido de sal de (50-70) hasta 3 lb. de NaCl/1000 barriles.

El crudo ya desalado se termina de calentar en dos calentadores de fuego directo para alimentarse a la torre estabilizadora. Los fondos de la torre estabilizadora se envían a almacenamiento como crudo estabilizado.

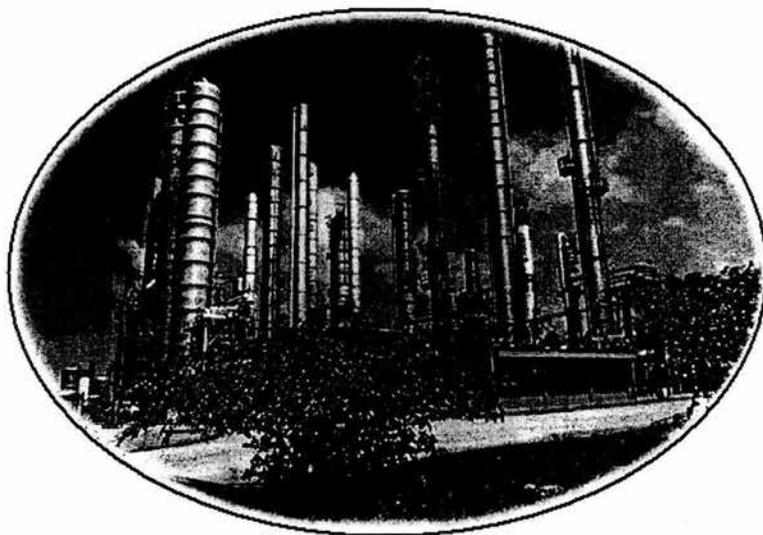
Los domos de la torre estabilizadora se componen de una fase líquida y una fase gas. La fase líquida se alimenta a la torre desbutanizadora DA-4002 de la cual se van a obtener, por los fondos, un corte de  $C_5-C_8$  que se enviará como carga de gasolina desbutanizada a la planta HDS-N y por domo dos corrientes, una líquida y una gaseosa; la líquida es un corte de  $C_4$  y más ligeros que se envían a la planta fraccionadora de hidrocarburos a su sección de tratamiento.

La fase gas del domo de la torre estabilizadora se comprime, se condensa parcialmente y se separa en el acumulador FA-4003, de donde la fase líquida se incorpora a la corriente líquida del domo de la estabilizadora que se alimenta a la torre desbutanizadora y la fase gas se incorpora a la corriente gaseosa de la desbutanizadora que se alimenta a la sección de tratamiento de gas de la planta fraccionadora de hidrocarburos.

Una descripción detalla del flujo de la planta, se encuentra en el apéndice I.1.

## CAPÍTULO II

# METODOLOGÍA EMPLEADA



El capítulo II contiene una descripción detallada de los métodos utilizados en este trabajo de tesis. Y por medio de ejemplos tomados del análisis realizado a la planta Estabilizadora de Crudo, se expone la forma en que se llevaron a cabo los tres métodos:

- Análisis de riesgos y operabilidad,
- Análisis de árbol de fallas, y
- Análisis de consecuencias.



## 2. CAPÍTULO II - METODOLOGÍA EMPLEADA

### 2.1. ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERATIVIDAD

#### (HazOp)

El análisis de riesgos se organizó para ser realizado en etapas, que serán descritas a continuación.

#### 2.1.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La *primera etapa* antes de realizar una evaluación de riesgos de proceso es reunir y organizar la información requerida. Se debe tener dominio y disponibilidad de los siguientes documentos:

- Manuales de operación y mantenimiento.
  - ◇ Descripción del proceso de estabilización de crudo (ver capítulo I pág. 23)
  - ◇ Diagrama de flujo de proceso. (ver apéndice 1.2.)
  - ◇ Diagramas de tubería e instrumentación.

1. Registros históricos de incidentes ó accidentes así como los registros de calibración y prueba de líneas y válvulas de relevo (PSV's).

2. Procedimientos normativos internos, normatividad local y nacional, así como de los estándares internacionales.<sup>1,8,9,10</sup>

3. Programas de capacitación y adiestramiento y los planes de emergencia.



### 2.1.2. DIVISIÓN DE LA PLANTA EN CIRCUITOS

La *segunda etapa* consiste en que, una vez que se entiende perfectamente el proceso, se divide la planta en circuitos. Estos circuitos se eligen de acuerdo a las operaciones unitarias que describan el proceso y en ocasiones, cuando las condiciones del proceso lo requieren se analizan servicios auxiliares que puedan representar un riesgo. En el caso de estudio se obtuvieron cinco circuitos:

- CARGA.
- PRECALENTAMIENTO DE CARGA.
- DESALADO.
- ESTABILIZACIÓN.
- DESBUTANIZACIÓN.

### 2.1.3. DIVISIÓN DE LOS CIRCUITOS EN NODOS Y SELECCIÓN DE NODOS SIGNIFICATIVOS

Posteriormente, los circuitos se dividen en nodos de las partes que los ingenieros con experiencia en operación de la planta consideren importantes para analizarlas con detalle (el coordinador debe sugerir algún equipo crítico que considere que podría ser un nodo).

Un **nodo** es una subdivisión del circuito, que contiene equipos críticos (partes importantes en el proceso).

Los nodos significativos para la planta Estabilizadora de crudo fueron los diez que se describen a continuación.



1. Recibo de carga del límite de batería, bombas GA-4001A/B/R, controladores de flujo FIC-4002 y FIC-4003 hasta entrada a los trenes de precalentamiento (EA-4001 al EA-4014). *(Circuito de carga)*.
2. Cuarto precalentador de carga contra residuo del tren A (EA-4009), desde la línea directa por el área de tubos hasta la válvula que va al cabezal hacia la desaladora (por el lado de tubos), incluyendo la válvula directa hacia el EA-4011, y desde el inicio hasta el final de la línea directa (por el lado de coraza). *(Circuito de precalentamiento de carga)*.
3. Desaladora FA-4005A desde las válvulas mezcladoras (PDV-4005A-A/B) hasta la salida de crudo desalado al EA-4011, incluyendo cabezal de desfogue y transformadores TR-1, TR-2 y TR-3. *(Circuito de desalado)*.
4. Salida de salmuera de las desaladoras FA-4005 A/B hacia efluente, desde las válvulas LV-4001 y 4002 hasta límite de batería. *(Circuito de desalado)*.
5. Calentador BA-4001A. *(Circuito de estabilización)*.
6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R. *(Circuito de estabilización)*.
7. Acumulador FA-4001. *(Circuito de estabilización)*.
8. Torre desbutanizadora DA-4002 e intercambiadores de carga EA-4018A/C a desbutanizadora. *(Circuito de desbutanización)*.
9. Calentador BA-4002. *(Circuito de desbutanización)*.
10. Cabezal de gas combustible. *(Servicios auxiliares)*.



## 2.1.4. ANÁLISIS DE CADA NODO

### 2.1.4.1. ELECCIÓN DE LAS DESVIACIONES

El siguiente paso es analizar cada nodo, para esto se deben especificar las desviaciones, que son los cambios que se pueden presentar en referencia a la *intención de diseño* (operación normal en la planta), y con este propósito se seleccionan parámetros y se usan palabras guía.

#### 2.1.4.1.1. ELECCIÓN DE PARÁMETROS

Un *parámetro* es una condición de operación (física o química) de la planta en una sección específica (o en el nodo), o una variable que pueda ser susceptible cambiar de tal forma que ponga en riesgo el equipo crítico. Para la elección de los parámetros se debe tener en cuenta que debe ser posible medirla. Estos parámetros pueden ser temperatura, presión, flujo, nivel, composición, etc.

Por ejemplo; para el *primer* nodo (Recibo de carga del límite de batería, bombas GA-4001A/B/R, controladores de flujo FIC-4002 y FIC-4003 hasta entrada a los trenes de precalentamiento (EA-4001 al EA-4014) se eligieron:

- Presión,
- Composición,
- Flujo y
- Densidad.

#### 2.1.4.1.2. USO DE PALABRAS GUÍA

Las palabras guía ayudan a decidir en que forma *varía* la condición actual comparándola con la intención de diseño; es decir, si en condiciones normales se tiene una presión determinada, una desviación sería mayor presión, y la palabra guía para mayor presión es “MÁS”.



En la tabla 2.1. se muestran las palabras guía que se utilizan en esta técnica y su significado.

**TABLA 2.1. - PALABRAS GUÍA<sup>4</sup>**

<i><b>PALABRAS GUÍA</b></i>	<i><b>SIGNIFICADO</b></i>	<i><b>DESCRIPCIÓN</b></i>
No	Negación de la intención	Omisión de un paso secuencial en el proceso.
Más	Incremento cuantitativo	Más de cualquier parámetro físico relevante.
Menos	Decremento cuantitativo	Menos de cualquier parámetro físico relevante.
Parte de	Decremento cualitativo	Sólo hay una parte de lo que debería haber.
Además / También como	Incremento cualitativo	Presencia adicional a lo esperado (fases extras, impurezas, etc.).
Inverso	Opuesto lógico	Pasos secuenciales del proceso hechos en orden inverso.
Otro	Sustitución completa	Puede suceder algo además de la operación normal (mantenimiento, limpieza, pruebas, etc.)

Posteriormente se utilizan estas palabras guía junto con los parámetros. Las combinaciones que se usan normalmente se muestran en la tabla 2.2.

**TABLA 2.2. – MATRIZ DE EJEMPLOS DE COMBINACIÓN  
DE PARÁMETROS CON PALABRAS GUÍA<sup>4</sup>**

<i>PARÁMETRO</i>	<i>PALABRAS GUÍA</i>						
	<i>NO</i>	<i>INVERSO</i>	<i>MÁS</i>	<i>MENOS</i>	<i>PARTE DE</i>	<i>TAMBIÉN COMO</i>	<i>OTRO QUE</i>
<i>Flujo</i>	No flujo	Retroceso	Más flujo	Menos flujo	Composición	Contaminación	Materiales equivocados
<i>Presión</i>	-	Presión de colapso (vacío por condensación)	Mayor presión	Menor presión	Caída de presión / presión diferencial (∅P)	Golpe de ariete	Se hace vacío (colapso)
<i>Temperatura</i>	-	-	Alta temperatura	Baja temperatura	Gradiente (∅T)	Oxidación ó Fragilización	Enfriamiento
<i>Viscosidad</i>	-	-	Alta viscosidad	Baja viscosidad	Cambio de fase	Obstrucción / composición diferente	-
<i>Nivel</i>	Vacío	-	Alto nivel	Bajo nivel	-	-	-
<i>Mezcla</i>	No hay mezcla	-	Mezcla excesiva	Mezcla insuficiente	-	Espuma	-

Existen algunos ejemplos útiles para seleccionar las desviaciones probables en cada caso, estos se muestran en la tabla 2.3. Sin embargo, se pueden proponer otras desviaciones que el grupo de trabajo considere importantes en la sección que se esté analizando.

**TABLA 2.3. – EJEMPLOS DE LAS DESVIACIONES PARA SECCIONES DE PROCESO**

<i>DESVIACIÓN</i>	<i>EQUIPO</i>				
	<i>COLUMNA</i>	<i>TANQUE</i>	<i>LÍNEA</i>	<i>INTERCAMBIADOR</i>	<i>BOMBA</i>
Flujo alto			×		
Sin flujo			×		
Alto nivel	×	×			
Bajo nivel	×	×			
Alta interfase		×			
Baja interfase		×			
Alta presión	×	×	×		×
Baja presión	×	×	×		×
Alta temperatura	×	×	×		
Baja temperatura	×	×	×	×	
Concentración alta	×	×	×		
Concentración baja	×	×	×		
Flujo inverso			×		
Ruptura de tubo	×	×		×	×
Ruptura	×	×	×	×	×



Basándose en la información anterior se encuentran las desviaciones para el nodo que se este analizando. Para el primer nodo, las desviaciones encontradas son:

No.	Parámetro	Palabra Guía	Desviación
1	Presión	Menos	Baja presión en la descarga de GA-4001A/B/R
2	Presión	Más	Alta presión en la descarga de GA-4001A/B/R
3	Composición	También como	Presencia de agua en la carga
4	Flujo	Menos	Bajo flujo de carga a la planta
5	Flujo	Inverso	Flujo inverso en bombas de carga GA-4001A/B/R
6	Densidad	Más	Mayor densidad en el crudo de carga

Una vez listadas las desviaciones, se analiza cada una identificando las causas que le dieron origen.

#### 2.1.4.2. LÍMITES QUE DEFINEN LAS DESVIACIONES

Debido a que cada persona considera diferente la baja o alta presión o temperatura; es necesario definir límites; de esta forma, cualquier valor que sea menor al límite inferior se definirá como bajo, como en el caso de la presión será *baja presión*. Así mismo cualquier valor mayor al límite superior será alto por ejemplo *alta presión*.

Existen dos límites que deben especificarse;

**Límites de operación:** que son los valores entre los cuales normalmente opera el equipo.

**Límites seguros:** son los valores con los que puede llegar a operar el equipo sin tener consecuencias severas.

Por ejemplo, para la primera desviación del nodo 1, que es *baja presión* en la descarga de las bombas de carga, se tienen los valores siguientes:

- \* Límite de operación inferior (L.O.I.): 28 Kg/cm<sup>2</sup>
- \* Límite de operación superior (L.O.S.): 33 Kg/cm<sup>2</sup>
- \* Límite de seguro inferior (L.S.I.): 24 Kg/cm<sup>2</sup>
- \* Límite de seguro superior (L.S.S.): 35 Kg/cm<sup>2</sup>



### 2.1.4.3. IDENTIFICACIÓN DE LAS CAUSAS QUE DAN ORIGEN A LAS DESVIACIONES

Las causas identificadas deben ser probables, para que el estudio tenga validez. Para la primera desviación del nodo 1 se identificaron tres causas de *baja presión en la descarga de GA-4001A/B/R*;

- ✧ Bajo nivel en los tanques de carga TV-102, 103 y 104.
- ✧ Válvulas bloqueadas en tanques de carga TV-102, 103 y 104.
- ✧ Filtros ("strainers") de bombas GA-4001A/B/R obstruidos.

### **2.1.5. METODOLOGÍA PARA ANALIZAR CADA CAUSA**

#### 2.1.5.1. LISTADO DE CONSECUENCIAS

Para cada una de las causas mencionadas anteriormente, se hace determinan cuales serían las consecuencias. En el caso del *bajo nivel en los tanques de carga a la planta* (nodo 1, desviación 1, causa 1) se obtienen las siguientes consecuencias:

- Bajo flujo de carga a la planta.
- Carbonización en los serpentines de calentadores BA-4001A/B.
- Planta fuera de operación.
- Incumplimiento al programa de entrega de productos.

#### 2.1.5.2. DETERMINACIÓN DE RIESGO

Para hacer una jerarquización de riesgos se deben tomar en cuenta la frecuencia y la gravedad de cada riesgo en particular. Así, todos los riesgos serán analizados bajo el mismo criterio y los resultados obtenidos serán más confiables.



## 2.1.5.2.1 GRAVEDAD

La gravedad (se decide que gravedad se tiene en base a las consecuencias de un accidente grave que corresponderían en la tabla a la descripción de daños) se clasificó como se muestra en la siguiente tabla, donde la gravedad más alta es 1 y la más baja es 4.

**TABLA 2.4.- TABLA DE GRAVEDAD**

No.	GRAVEDAD	DAÑOS A:	DESCRIPCIÓN DE DAÑOS
1	CATASTRÓFICO	Personas	Pérdida de una o más vidas fuera de la Refinería.
		Instalaciones	Daños por más de \$25,000,000.
		Ambiente	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la Refinería.
		Operación	Paro de la Refinería.
2	MAYOR	Personas	Un lesionado fuera de la refinería y una pérdida de vida dentro.
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$2,500,000 y \$25,000,000.
		Ambiente	Fuga mayor que no requiere limpieza fuera de la Refinería.
		Operación	Paro de más de una planta.
3	SIGNIFICATIVO	Personas	Varios lesionados dentro de la Refinería.
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$250,000 y \$2,500,000.
		Ambiente	Fuga menor que requiere limpieza dentro de la Refinería.
		Operación	Paro de una planta.
4	IMPORTANTE	Personas	Un lesionado dentro de la Refinería.
		Instalaciones	Daños por menos de \$250,000.
		Ambiente	Fuga menor.
		Operación	Paro del equipo o sección de planta.



## 2.1.5.2.2. FRECUENCIA

La frecuencia se refiere a las veces que ocurre la desviación analizada en un periodo de tiempo, la frecuencia más alta es 1 y está en orden descendente.

**TABLA 2.5. - TABLA DE FRECUENCIA**

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

## 2.1.5.2.3. MATRIZ DE RIESGOS

Con la frecuencia y la gravedad para cada causa analizada, se determina *un valor para el riesgo* por medio de la **matriz de riesgos**. Esta matriz varía de acuerdo a la instalación en que se desee aplicar, debido a que en la industria del procesamiento de hidrocarburos existen diferentes riesgos en contraste con otras industrias que no utilizan grandes cantidades de sustancias riesgosas a condiciones extremas de operación. Los números interiores dan el número ó índice de riesgo.

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

Figura 2.1. Matriz de riesgos



Los valores en tonalidades más oscuras son los riesgos inaceptables; que deben atenderse primero. Es decir, los valores van de 1 a 10, en donde el riesgo 1 es el que debe tener una prioridad mayor.

#### 2.1.5.2.4. RIESGO POTENCIAL Y REAL

Al variar las consideraciones de frecuencia y gravedad, se pueden obtener el riesgo potencial y el riesgo real. El *riesgo potencial* es el riesgo que se tendría si todas las protecciones (ver listado de protecciones) de los sistemas fallaran. Éste riesgo se obtiene dando a la frecuencia y gravedad sugeridas sin considerar las protecciones. El *riesgo real* es el que esta latente aún con las protecciones funcionando adecuadamente.

#### 2.1.5.3. LISTADO DE PROTECCIONES

Las protecciones son los instrumentos, las medidas de seguridad, los procedimientos operativos y todo lo que se tenga disponible para evitar que suceda un evento indeseable o accidente; las protecciones son para *evitar* que haya *desviaciones* en el sistema (atacando la causa) y para *mitigar* las *consecuencias* (una vez que se presente la desviación de la intención de diseño).

Por ejemplo, en la primera desviación del primer nodo (*Baja presión en la descarga de las bombas de carga a la planta*) se tienen diversas protecciones para que no haya una baja presión ó para que no ocurra un accidente aún cuando baje la presión. En el caso de la tercera causa (escenario 3): Filtros de las bombas GA-4001A/B/R obstruidos, se tienen las siguientes protecciones para que no se obstruyan esos filtros:

- Inspección periódica de filtros de succión.
- Bomba de relevo GA-4001B/R.
- Controladores de flujo FIC-4002 y 4003.
- Alarmas por bajo flujo FAL-4002 y 4003 e indicadores de presión en la descarga de las bombas, PI-4086, 4087 y 4088.



#### 2.1.5.4. LISTADO DE RECOMENDACIONES

Las recomendaciones van encaminadas a dos aspectos: 1) Eliminar las condiciones que podrían causar fallas o accidentes en la planta; y 2) Aminorar las consecuencias de un posible accidente. Las recomendaciones para el ejemplo anterior (en el que se citaron las protecciones; escenario 3) son:

- ✧ Verificar el cumplimiento de programas de mantenimiento a bombas. (*buena práctica de operación*).
- ✧ Instalación de alarma por baja presión en la descarga de bombas GA-4001A/B/R. (*mejora la operatividad de la planta y previene el problema planteado en la causa*).

#### 2.1.5.5. DETERMINACIÓN DE LA CLASE

##### 2.1.5.5.1. CLASES DE RIESGOS

**TABLA 2.6.- CLASES DE RIESGOS**

<i>No. de riesgo</i>	<i>Clase</i>	<i>Descripción</i>	<i>Seguimiento</i>
1 - 3	A	Inaceptable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos para obtener un riesgo clase C o menor dentro de un periodo de 6 meses.
4	B	Indeseable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase C o menor dentro de un periodo de 12 meses.
6	C	Aceptable con controles	Debe verificarse que los procedimientos o controles estén: <ul style="list-style-type: none"><li>- en el lugar que les corresponde,</li><li>- en uso y que sean efectivos.</li></ul>
7 - 10	D	Aceptable como está	No es de alta prioridad mitigar el riesgo, sin embargo se mejora la operabilidad de la planta si se atiende.



La jerarquía de riesgos sirve para determinar el tiempo que se tiene para atender un riesgo.

#### 2.1.5.5.2. MATRIZ DE CLASES DE RIESGOS

Usando como base la matriz de riesgos fig. 2.1, se hace una matriz de clases de riesgos. Esta última se usa para facilitar el establecimiento de las prioridades de los riesgos clasificándolos en cuatro clases; A, B, C y D.

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

Figura 2.2. Matriz de clases de riesgos

#### 2.1.6. REPORTE DE RESULTADOS DEL ANÁLISIS

Los apartados anteriores dan la base para completar el análisis; pero como se mencionó en los antecedentes, es necesario tener un medio de captura eficiente para organizar toda la información obtenida. El formato utilizado para llevar a cabo la metodología descrita se encuentra en la siguiente página (fig. 2.3), éste, corresponde a un programa de captura<sup>11</sup> que se utilizó durante el análisis. Debido a la extensión del análisis, no será incluido completo en este trabajo de tesis, sólo se presentan las hojas más importantes en el apéndice 1.4.

Al preparar el reporte de resultados, los riesgos encontrados se deben clasificar como ya se ha mencionado y las **recomendaciones** para minimizar dichos riesgos tendrán prioridad de acuerdo a la clasificación del riesgo.



CAPÍTULO II



Planta:	Estabilizadora de crudo	Circuito:	De carga	Fecha:
Nodo:	1. Recibo de carga del límite de batería, bombas GA-4001A/B/R, controladores de flujo FIC-4002 y FIC-4003 hasta entrada a los trenes de precalentamiento (EA-4001 al EA-4014).			

Diagramas:

Desviación	1. Baja presión en la descarga de GA-4001A/B/R	LOI:	28 kg/cm <sup>2</sup>	LOS:	33 kg/cm <sup>2</sup>	LSI:	24 kg/cm <sup>2</sup>	LSS:	35 kg/cm <sup>2</sup>	Producto:	Crudo 100 % maya.
------------	--	------	-----------------------	------	-----------------------	------	-----------------------	------	-----------------------	-----------	-------------------

Causa Clase	Consecuencias	Protección	Recomendación	F	G	R
1	1. Bajo nivel en los tanques de carga TV-102, 103 y 104. 2. Carbonización en los serpentines de calentadores BA-4001A/B. 3. Planta fuera de operación.	1. Controladores de flujo FIC-4002 y 4003. 2. Alarmas por bajo flujo FAL-4002 y 4003. 3. Procedimiento operacional por baja carga de materia prima. 4. Indicadores de presión en la descarga de las bombas, PI-4086, 4087 y 4088.	1. Instalación de indicadores electrónicos de nivel con alarmas por bajo y alto nivel en tanques de carga a planta Estabilizadora.	3	3	7
2	2. Válvulas bloqueadas en tanques de carga TV-102, 103 y 104. 3. Carbonización en los serpentines de calentadores BA-4001A/B. 4. Planta fuera de operación.	1. Daños a bombas GA-4001A/B/R. 2. Bajo flujo de carga a la planta. 3. Carbonización en los serpentines de calentadores BA-4001A/B. 4. Planta fuera de operación.	1. Difusión y seguimiento de los procedimientos operativos para el cambio de tanques de carga de crudo. 2. Controladores de flujo FIC-4002 y 4003. 3. Alarmas por bajo flujo FAL-4002 y 4003.	2	2	4
				(3)	(2)	(6)

Fig. 2.3. Hoja de registro para el análisis de riesgos y operabilidad.



## 2.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

### 2.2.1. METODOLOGÍA

La metodología para construir un árbol de fallas es la siguiente:

- \* Determinar el evento culminante (evento indeseado ó accidente grave) y colocarlo en la parte superior del árbol de fallas.
- \* Precisar el nivel inmediato inferior identificando las causas del evento culminante.
- \* Construir el árbol identificando los eventos que dan origen a los eventos del nivel superior. Esto se hace hasta llegar a las causas raíz o causas básicas.
- \* Calcular la probabilidad del evento culminante a partir del nivel más bajo, usando las reglas booleanas (de acuerdo a cada operador lógico que se tenga).

Esta técnica fue explicada en el capítulo I, en este caso se seleccionó un evento culminante por medio del análisis de riesgos y operabilidad y es:

#### **Incendio por fuga en las bombas de carga GA-4001 A/B/R.**

La cavitación en cualquiera de las bombas de carga GA-4001 A/B/R puede causar daños en los sellos de la bomba, esto ocasionaría una fuga. Esta fuga y un punto de ignición darían un incendio.

### 2.2.2. PROBABILIDAD DE FALLA

Se describe por la siguiente ecuación:

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

En donde “P” es la probabilidad,  $\lambda$  es la frecuencia y “t” es el tiempo; en este caso, la frecuencia tiene un valor de 2 (tomado del análisis de riesgos y operabilidad y la frecuencia 2 es equivalente a una vez en 10 años), entonces;



$$P = 1 - e^{(-1 \text{ falla}/10\text{años} * 1 \text{ años})} = 0.095$$

Es decir que la probabilidad de ocurrencia es de 0.095 en un año.

La probabilidad de falla es baja por lo que el riesgo es aceptable, ya que con todas las protecciones que la bomba posee se opera de manera segura, y de llegar a ocurrir el evento, la gravedad se disminuye con el sistema contra incendio y simulacros operacionales de emergencia.

Para construir la secuencia lógica del árbol de fallas y hacer el análisis cuantitativamente, se utilizan las siguientes tablas y esta probabilidad se le asigna a los elementos raíz.

**TABLA 2.7. - POTENCIAL DE PÉRDIDA**

<b><i>PROBABILIDAD (P)</i></b>	<b><i>FRECUENCIA PROBABLE (F)</i></b>
$10^0$	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
$10^{-1}$	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
$10^{-3}$	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
$10^{-5}$	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
$10^{-7}$	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
$10^{-9}$	No es probable que ocurra

**TABLA 2.8. – PÉRDIDA MÁXIMA PROBABLE**

<b>POTENCIAL DE PÉRDIDA (P0)</b>	<b>PÉRDIDA PROBABLE TOTAL (en dólares)</b>
1	1 a 100
$10^{-1}$	100 a 1,000
$10^{-2}$	1,000 a 10,000
$10^{-3}$	10,000 a 100,000
$10^{-4}$	100,000 a 1,000,000
$10^{-5}$	1,000,000 a 10,000,000
$10^{-6}$	10,000,000 a 100,000,000
$10^{-7}$	100,000,000 a 1,000,000,000
$10^{-8}$	Mayor de 1000,000,000

Las reglas booleanas para calcular la probabilidad de que ocurra el evento culminante, son:

**TABLA 2.9. – REGLAS DE USO FRECUENTE EN EL AAF**

<b>NOMBRE</b>	<b>REGLAS</b>
CONMUTATIVA	$AA = BA$ $A + B = B + A$
ASOCIATIVA	$A(BC) = (AB)C$ $A + (B + C) = (A + B) + C$
DISTRIBUTIVA	$A(B + C) = AB + AC$ $A + BC = (A + B)(A + C)$
VARIAS	$AA = A$ $A + A = A$ $A(A + B) = A$ $A + AB = A$ $AA^* = 0$ $A + A^* = 1$ $0A = 0$ $0 + A = A$ $1A = A$ $1 + A = 1$ $(A^*)^* = A$



En el árbol de fallas FQ-AF-EC-01/05 se muestra la secuencia lógica de eventos que deben suscitarse para que ocurra el evento culminante, estos diagramas (5 diagramas) se encuentran en el apéndice 1.2.2. Es importante mencionar que estos diagramas utilizan la simbología mostrada en el capítulo I, pero sólo los primeros símbolos. La probabilidad de que ocurra el evento culminante para el caso de la planta Estabilizadora de crudo está en el capítulo III de resultados y discusión.

### 2.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Como se menciona en el capítulo I, el análisis de consecuencias es un método generalizado y semicuantitativo. También se dijo que se utilizó un software especializado, el PHAST (Process Hazard Analysis Safety Tool)<sup>12</sup> versión 6.0. para simular los eventos indeseados y determinar radios de afectación. Se eligió la ruptura catastrófica en el acumulador FA-4004 de reflujo en el domo de la torre desbutanizadora DA-4002 de la planta Estabilizadora de Crudo.

#### 2.3.1. DATOS REQUERIDOS PARA EL ANÁLISIS

Para obtener resultados coherentes y que sean una buena estimación de lo que podría ocurrir, es necesario suministrar al software datos reales y representativos. Los datos que se requieren varían de acuerdo a lo que se quiere analizar, pueden ser equipos o líneas.

Para el caso que se estudió, se seleccionó un escenario basándose en los riesgos obtenidos anteriormente y adicionalmente se requieren los siguientes datos:

- a Condiciones climatológicas del lugar donde se llevaría a cabo el evento indeseado.
- b Composición de las corrientes o mezclas que están en el punto que se va a simular.
- c Condiciones de operación del equipo estudiado (presión, temperatura, etc.).



### 2.3.2. DESCRIPCIÓN DE CONSECUENCIAS

#### 2.3.2.1. RADIACIÓN

Una de las consecuencias que pueden que se tienen al ocurrir algún evento indeseado ó accidente (ver capítulo I) es la **radiación** (fenómeno térmico). A continuación se muestra una tabla en donde se explica cuales serían los efectos causados por distintos niveles de radiación. También se especifica a que zona corresponde ese nivel de radiación, ya que en un accidente, habrá distintos radios de afectación alrededor del lugar del accidente ó incendio.

**TABLA 2.10. – NIVELES DE RADIACIÓN**

<b><i>RADIACIÓN</i></b>	<b><i>DESCRIPCIÓN</i></b>
1.4 kW/m <sup>2</sup> (440 BTU/h/ft <sup>2</sup> )	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día Este límite se considera como <i>zona de seguridad</i> .
5.0 kW/m <sup>2</sup> (1,268 BTU/h/ft <sup>2</sup> )	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños a las personas si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2° grado (si las personas no tienen sistemas individuales de protección). Esta radiación será considerada como límite de <i>zona de amortiguamiento</i> .
12.5 kW/m <sup>2</sup> (3,963 BTU/h/ft <sup>2</sup> )	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 las personas y las instalaciones como zona de alto riesgo.

#### 2.3.2.2. ONDAS DE SOBREPRESIÓN

Otras consecuencias son las de fenómenos de tipo mecánico, como son las ondas de sobrepresión y proyectiles. Las **ondas de sobrepresión** son compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico, que se traducen en efectos mecánicos transitorios sobre los elementos inertes o los seres vivos.<sup>13</sup> Las ondas de sobrepresión son provocadas por las



explosiones o por el equilibrado rápido entre una masa de gases a presión elevada y la atmósfera que la envuelve.

En la tabla 2.11. se describen los efectos de la exposición a distintos niveles de presión y, como en la tabla anterior, se definen las zonas que estarían alrededor de un accidente.

**TABLA 2.11. – NIVELES DE SOBREPRESIÓN**

<b>PRESIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
0.5 lb/pulg <sup>2</sup> (0.02 bar)	Esta es la presión 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 presión se considera como el límite de la <i>zona de salvaguarda</i> .
1 lb/pulg <sup>2</sup> (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 <sup>2</sup> se considera como la <i>zona de amortiguamiento</i> .
2 lb/pulg <sup>2</sup> (0.20 bar)	A esta presión se presenta el colapso parcial de techos y paredes de casas. De 1 a 2 lb/pulg <sup>2</sup> se considera como la <i>zona de exclusión (riesgo)</i> .

Otro efecto pueden ser los **proyectiles**; se entiende como tal cualquier fragmento sólido que proceda de las inmediaciones del punto en el que se ha producido una explosión y que esté dotado de gran cantidad de movimiento.<sup>13</sup>

En función de su origen, se dividen a los proyectiles en primarios, cuando proceden de estructuras en inmediato contacto con la masa explosiva, como en el caso de estallidos; y secundarios cuando proceden de estructuras cercanas a la zona de la explosión, que han sido fracturadas por la onda de sobrepresión, como en el caso de una explosión no confinada.

La tabla 2.11. muestra los niveles de sobrepresión que se utilizaron para realizar el análisis de consecuencias en este trabajo de tesis. La siguiente tabla indica los daños que pueden causar otros niveles de sobrepresión derivados de una explosión en plantas y refinerías.

**TABLA 2.12. - DAÑOS EN PLANTAS Y REFINERÍAS**

<b>PRESIÓN</b> ( <i>psig</i> )	<b>EVALUACION DE DAÑOS POR EXPLOSIONES</b>	
	<b>REFINERIAS</b>	<b>PLANTAS</b>
0.5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): rotura de ventanas.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (techo metálico): rotura de ventanas y medidores.</li><li>- Cuarto de control (techo de concreto): rotura de ventanas y medidores.</li><li>- Torre de enfriamiento: falla de mamparas</li></ul>
1.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): deformación de la estructura.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto control (techo metálico): conectores dañados por colapso del techo.</li><li>- Cuarto de control (techo de concreto): dañados por colapso del techo.</li><li>- Tanques de almacenamiento (techo cónico): colapso del techo.</li></ul>
2.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Colapso parcial de paredes.</li><li>- Umbral 1% de ruptura de tímpano.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calentador: fractura de ladrillos.</li><li>- Reactor químico: rotura de ventanas y medidores.</li><li>- Filtros: falla de paredes de concreto.</li></ul>
3.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Edificio de mantenimiento: deformación.</li><li>- Ruptura de tanque de almacenamiento.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tanque de almacenamiento (techo cónico): el equipo se levanta (llenado al 50%).</li><li>- Cubículo de instrumentos: líneas de fuerza dañadas, controles dañados.</li></ul>
5.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Torre de regeneración: deformación de la columna.</li><li>- Edificio de mantenimiento: derrumbe de muros de tabique, deformación de la estructura.</li><li>- Tuberías: derrumbe de la estructura y rompimiento de líneas.</li><li>- Tanques de almacenamiento (techo cónico y techo flotante): levantamiento de tanques llenos o medio llenos, dependiendo de su capacidad.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calentador: unidad destruida.</li><li>- Regenerador: marcos colapsados.</li><li>- Motor eléctrico: daño por proyección de partículas.</li><li>- Ventilador: carcasa y caja dañadas.</li></ul>

Continúa...



Continuación de tabla 2.12...

<b>PRESIÓN</b> ( <i>psig</i> )	<b>EVALUACION DE DAÑOS POR EXPLOSIONES</b>	
	<b>REFINERIAS</b>	<b>PLANTAS</b>
7.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Torre rectangular (estructura de concreto): derrumbe de la estructura y la torre.</li><li>- Torre de vacío octagonal (estructura de concreto): fractura de la estructura.</li><li>- Torre fraccionadora: (montada sobre pedestal de concreto 9 caída de la torre.</li><li>- Torre de regeneración derrumbe de la estructura y la torre.</li><li>- Tanques de almacenamiento esférico: deformación de la estructura en tanques llenos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Reactor catalítico: partes internas dañadas.</li><li>- Columna fraccionadora: unidad destruida.</li></ul>
10.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (construcción de concreto y estructura de fierro): derrumbe de estructura de fierro.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Cuarto de control (techo de concreto): unidad destruida.</li><li>- Transformados eléctrico: unidad destruida.</li><li>- Ventilador: unidad destruida.</li><li>- Regulador de gas: controles dañados, carcasa y caja dañadas.</li><li>- Columna de extracción: la unidad se mueve de sus cimientos.</li></ul>
20.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Tanque de almacenamiento (techo flotante): colapso del techo.</li></ul>
30.0	<ul style="list-style-type: none"><li>- 90 % de probabilidad de muerte por hemorragia pulmonar en el personal.</li><li>- Unidades se mueven de sus cimientos.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Motor eléctrico: la unidad se mueve de sus cimientos.</li><li>- Turbina de vapor: la unidad se mueve de sus cimientos.</li></ul>



### 2.3.2.3. FUGAS Y DERRAMES DE SUSTANCIAS TÓXICAS

Los fenómenos peligrosos de origen químico proceden de las características de toxicidad de las sustancias peligrosas cuando se produce una fuga o derrame incontrolado de este tipo de sustancias.

Estas sustancias químicas, directa o indirectamente, a través de reacciones secundarias inmediatas o diferidas, pueden ser:

1. Tóxicos para el hombre y otros organismos,
2. Irritantes, narcóticas u otras patologías asociadas,
3. Cancerígenas, mutagénicas y teratogénicas,
4. Bioacumulables (alteración de la cadena trófica),
5. Corrosivas,
6. Peligrosas para el medio ambiente.

La característica esencial de estas sustancias consiste en que para producir una serie de consecuencias peligrosas para las personas o el medio ambiente, deben difundirse a través de un medio (normalmente aire, suelo o agua), lo que requiere que transcurra un determinado tiempo y, en ocasiones, permite la aplicación de medidas de protección más fácilmente que para los fenómenos térmicos y mecánicos (los dos se mencionaron en los puntos anteriores).

Sin embargo, también es más difícil predecir o conocer el desplazamiento de los contaminantes, su evolución, así como su eliminación total del medio al que se han incorporado. Para el conocimiento de estos fenómenos, se utilizan herramientas y modelos matemáticos muy sofisticados.



Entre los fenómenos tipo químico que pueden ocurrir como consecuencia, se tienen fugas ó derrames incontrolados de sustancias tóxicas o contaminantes. Una **fuga** se define como una salida incontrolada de materias de recipientes (tubería ó accesorios) por aparición de un orificio limitado o rotura catastrófica del recipiente.

Para determinar cuando una sustancia es tóxica o contaminante hay diversos criterios en la normatividad mexicana<sup>1</sup>. Pero para tener concordancia con las normas internacionales (por ejemplo, "The U.S. Occupational Health and Safety Administration, OSHA") se usan los siguientes límites para determinar la toxicidad de una sustancia.

**TABLA 2.13. – LÍMITES INTERNACIONALES DE TOXICIDAD**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
<b>TLV</b> (Threshold Limit Value) Valores Límite Umbral	Son valores de concentración publicados por la ACGIH (American Conference of Governmental Industry Hygienists) y representan la concentración en el aire de una sustancia determinada en condiciones específicas a la cual un trabajador normal puede ser expuesto sin sufrir efectos adversos. Hay diferentes clases de valores TLV.
<b>TLV-TWA</b> (Time Weighted Average) Tiempo Promedio de Exposición.	Es la concentración media para una jornada laboral de 8 horas diarias (40 horas por semana) a la cual la mayoría de los trabajadores pueden ser expuestos durante toda su vida laboral sin sufrir efectos adversos.
<b>TLV-STEL</b> (Short Term Exposure Límite) Límite de exposición de corta duración (TLV15)	Es la máxima concentración a la cual la mayoría de los trabajadores pueden ser expuestos por un periodo de 15 minutos sin sufrir irritación, cambios crónicos o irreversibles en los tejidos o narcosis que reduzca su eficacia, les predisponga a un accidente o les dificulte su defensa.
<b>TLV-CEILING</b> (Límite "Tope")	Es la concentración en aire que no deberá ser excedida ni siquiera instantáneamente.
<b>IDLH</b> (Immediately Dangerous to Life or Health) Daño Inmediato a la Vida y la Salud.	Son valores de concentración publicados por NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health) y representan la concentración máxima a la cual un trabajador en buen estado de salud puede ser expuesto durante 30 minutos sin desarrollar síntomas que disminuyan su capacidad para efectuar una evacuación de emergencia y sin sufrir daño irreversible.

Continúa...

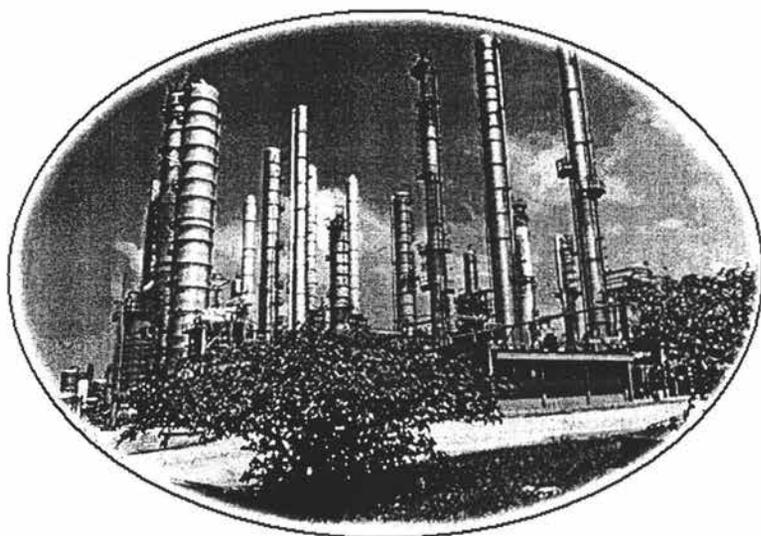


Continuación de tabla 2.13...

<i>PARÁMETRO</i>	<i>DESCRIPCIÓN</i>
<b>ERPG</b> (Emergency Response Planning Guidelines) Guías para planeación de Respuesta a Emergencias.	<p>Son valores desarrollados por AIHA (American Industrial Hygiene Association) para materiales tóxicos selectos de acuerdo con la siguiente descripción.</p> <p><b>ERPG-3</b> La máxima concentración transportada en el aire a la cual se supone casi todas las personas podrían estar expuestas hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos que amenacen la salud o la vida. Delimita la zona donde la exposición puede resultar fatal.</p> <p><b>ERPG-2</b> La máxima concentración transportada en el aire a la cual se supone que casi todas las personas pudieran ser expuestas hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos adversos irreversibles u otros efectos serios o síntomas que pudieran dañar la capacidad de la persona para tomar una acción de protección. Delimita lo zona dentro de la cual los daños pueden ser permanentes.</p> <p><b>ERPG-1</b> La máxima concentración transportada en el aire a la cual casi todas las personas podrían ser expuestas hasta una hora sin experimentar o desarrollar efectos a la salud más severos que una percepción sensorial. Delimita la zona dentro de la cual solamente se presentara irritación.</p>

# CAPÍTULO III

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN



En este capítulo se muestran los resultados obtenidos en los análisis de riesgos. Con respecto al **análisis de riesgos y operabilidad** primero; se muestran las tablas con las recomendaciones encontradas y buenas prácticas de operación que deben seguirse en la planta, después las áreas que recibieron mayor cantidad de recomendaciones para mejorar la seguridad de la instalación y finalmente los niveles de riesgo de la planta Estabilizadora. Los resultados del **análisis de árbol de fallas** fueron: el valor numérico de la probabilidad de que ocurra un accidente y los diagramas que muestran las posibles causas de ese accidente (apéndice 1.2). Adicionalmente, se muestran los radios de afectación y los eventos probables obtenidos del **análisis de consecuencias**.



### 3. CAPÍTULO III – RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Se obtuvieron 96 recomendaciones, las cuales se presentan a continuación en orden jerárquico, junto con los escenarios en los cuales se fundamentan (estos escenarios se describen en el análisis de riesgos y operabilidad completo).

**TABLA 3.1. – RECOMENDACIONES OBTENIDAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD**

<i>NO.</i>	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>CLASE</i>	<i>ESCENARIO</i>
1.	Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la Torre Estabilizadora DA-4001, antes de las bombas GA-4002A/B/R para que en caso de siniestro se pueda aislar.	A	96, 118.
2.	Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-4001, antes de las bombas GA-4004A/B/R y GA-4005A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar.	A	133, 132.
3.	Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la Torre Desbutanizadora DA-4002, antes de las bombas GA-4012A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar.	A	143.
4.	Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-4004 ubicada antes de las bombas GA-4007 para que en caso de siniestro se pueda aislar.	A	163.
5.	Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.	A	96, 118, 133, 143, 163, 132.
6.	Dar seguimiento a la instalación de retrofit (doble sello) a las bombas y su conexión de sistema de enfriamiento a desfogue (de acuerdo a la recomendación del proveedor).	A	163, 147, 115, 134, 148, 150, 155, 156, 158, 160, 161.
7.	Verificar que este en buenas condiciones el sistema de drenado de los tanques de crudo (bomba GA-188A/B en condiciones operables e instalación de bomba auxiliar).	B	9, 97, 10, 42, 55, 130, 139, 144, 152.



<i>NO.</i>	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>CLASE</i>	<i>ESCENARIO</i>
8.	Instalación de un filtro en el cárcamo de las bombas GA-188A/B.	B	9, 97, 42, 55, 130, 139, 144, 152.
9.	Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automático de drenado adecuado para tanques de carga a la Planta Estabilizadora de Crudo.	B	9, 71, 97, 23, 42, 55, 66, 130, 139, 144, 152, 1, 29.
10.	Instalación de motores nuevos con capacidad adecuada en las bombas GA-188A/B y que puedan trabajar a la intemperie.	B	9, 97, 42, 55, 130, 139, 144, 152.
11.	Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.	B	9, 20, 24, 38, 40, 10, 71, 77, 115, 130, 139, 144, 152.
12.	Reactivar e instrumentar el sistema de pretratamiento automatizado de crudo de carga.	B	24.
13.	Elaborar procedimiento de remoción de lodos, para la cantidad de lodos que se generan actualmente con el tipo de crudo que se maneja (maya 100%).	B	63, 71.
14.	Elaborar estudio para hacer más eficiente la remoción de lodos sin afectar el desalado de crudo.	B	63, 71
15.	Utilizar materiales de acuerdo a especificación y realizar estudio costo-beneficio para evaluar el material adecuado de serpentines de los calentadores para las condiciones actuales de proceso.	B	73, 174.
16.	Estudio costo-beneficio para aplicación de tratamiento químico para evitar incrustación en serpentines de calentadores.	B	73, 174, 175.
17.	Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automatizado de control de la mampara en la chimenea basado en la señal del analizador de oxígeno AR en los calentadores.	B	72, 74, 79, 81, 86, 91, 103, 173, 179.
18.	Sustituir tomas del vacuómetro del calentador BA-4001A/B.	B	74.
19.	Eliminar corrientes parásitas (de aire) para asegurar el buen funcionamiento del analizador de oxígeno AR-4003.	B	74, 80.
20.	Rehabilitar detectores de gas y fuego.	B	97, 174, 147.



<b>NO.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>CLASE</b>	<b>ESCENARIO</b>
21.	Dar continuidad a la solicitud de cambio de bombas GA-4015A/R por unas de mayor capacidad (de acuerdo a las condiciones de operación actuales).	B	97, 135, 136.
22.	Realizar estudio costo-beneficio para instalar bomba de desalajo de agua amarga de mayor capacidad.	B	131, 152.
23.	Realizar estudio costo-beneficio para instalar un sistema adecuado en la bota de agua del acumulador FA-4001.	B	131, 135, 144, 152, 136.
24.	Eliminar corrientes parásitas (de aire) para asegurar el buen funcionamiento del analizador de oxígeno para el calentador BA-4002.	B	175.
25.	Instalación de alarma por baja presión en la descarga de las bombas GA-4001A/B/R.	C	3, 38, 66.
26.	Reubicación de la toma de agua (por la parte superior) o sustitución de línea de enfriamiento a compresores GB-4801 y GB-4802.	C	17.
27.	Modernizar la señal del transmisor en el PRC-4001.	C	21, 31, 36, 64.
28.	Asegurar la disponibilidad de sustancias para aplicación de tratamientos químicos.	C	21, 64, 78, 124, 178, 6, 12, 34.
29.	Realizar estudio costo-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad PSV's de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación para que en caso de que releven no se presione el sistema (capacidad adecuada).	C	21, 23, 22, 33, 35, 39, 68, 69, 116, 117.
30.	Instalación de válvula (autorregulable) en la línea de recirculación de tanque de agua de desalado para mantener nivel en la desaladora (se debe anexar diagrama).	C	55, 43, 44, 45, 46, 47.
31.	Solicitar que el proveedor envíe el gas combustible dentro de especificaciones.	C	59, 75, 84, 94, 164, 176, 183, 190, 86, 91, 103.
32.	Mejorar comunicación inter organismos para comunicar cambios en el suministro de gas combustible (composición).	C	59, 75, 84, 94, 164, 176, 183, 190, 86, 91, 103.
33.	Solicitar compra de encendedor electrónico para quemadores y pilotos del calentador.	C	76, 177.
34.	Realizar estudio costo-beneficio para instalar un sistema de encendido electrónico de calentadores.	C	76, 177.



<i>NO.</i>	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>CLASE</i>	<i>ESCENARIO</i>
35.	Realizar estudio costo beneficio para cambiar el material de los platos de la torre DA-4001.	C	77.
36.	Estudio costo-beneficio para cambio de materiales de construcción de acuerdo a crudo de carga y a condiciones de operación.	C	78, 178.
37.	Instalar tapas a mirillas inferiores en calentadores.	C	82, 181.
38.	Mantenimiento a puertas de explosión deformadas y aislamiento de mirillas laterales en la reparación general.	C	82, 181.
39.	Instalación de cámaras de volumen en las tomas de proceso del transmisor de flujo FT-4030.	C	89.
40.	Habilitar alarma por alta presión en el cabezal de gas combustible de quemadores.	C	95.
41.	Habilitar control en cascada del TRC-4011 y TRC-4021 y ajustar parámetros del controlador para adecuarlos a condiciones de operación actual.	C	95.
42.	Sustitución de detectores de gases explosivos.	C	135, 136.
43.	Poner en operación líneas, válvula automática y directo de mayor diámetro para bombas GA-4015A/R.	C	135, 136.
44.	Realizar estudio costo-beneficio para el desalojo de agua amarga de acuerdo a las condiciones de operación actuales.	C	140, 144.
45.	Mejorar comunicación entre planta Estabilizadora y control de Torre de Enfriamiento CT-102 (entrega de un radio por parte de Planta Estabilizadora de Crudo).	C	146, 154, 85, 101, 125.
46.	Instalación de alarma por baja presión en la descarga de bombas GA-4012T/R.	C	169.
47.	Realizar estudio costo-beneficio para la sustitución de un calentador (BA-4002) que cumpla con los requerimientos del proceso.	C	184.
48.	Cambiar tubos en la zona de convección por tubos aletados para mejorar la transferencia de calor.	C	185.



<b>NO.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>CLASE</b>	<b>ESCENARIO</b>
49.	Realizar costo-beneficio para adecuación de los intercambiadores a las condiciones actuales de operación.	D	6, 12.
50.	Brindar mantenimiento continuo a las alarmas de bajo flujo (FAL-4002 y FAL-4003).	D	7.
51.	Instalación de alarma y disparo por alta presión en la descarga de las bombas GA-4001A/B/R	D	8.
52.	Estudio costo-beneficio para la instalación de sistema de detección de derrames por sellos mecánicos y variador de velocidad en bombas.	D	8.
53.	Brindar mantenimiento continuo a la alarma de bajo flujo, FAL-4001.	D	11.
54.	Realizar estudio costo-beneficio para la instalación de intercambiadores con tubería trenzada.	D	12.
55.	Actualizar procedimiento de mantenimiento referente a cebar bomba integral.	D	15.
56.	Elaboración y difusión de procedimiento operativo en caso de tapón pegado o vástago roto de FV-4002 y FV-4003.	D	16.
57.	Instalar alarma por baja temperatura en el fondo de la torre DA-4001.	D	25.
58.	Instalar alarma por baja presión de vapor de baja a la entrada en L.B.	D	30, 32.
59.	Sustitución de válvulas dañadas en la salida y entrada de las desaladoras.	D	33, 39.
60.	Solicitar suficientes recursos humanos y económicos para reparaciones.	D	34.
61.	Realizar barrido con aire a las líneas de alimentación de la instrumentación de la planta en programa de reparación	D	41.
62.	Estudio costo-beneficio para la modernización de protecciones de alimentación eléctrica (BUS) A o B.	D	51.
63.	Estudio costo-beneficio para la instalación de electrodos de mejor calidad en las parillas de las desaladoras, para evitar la pérdida de aislamiento.	D	52, 56.
64.	Estudio costo-beneficio para instalar arreglo "delta" en las parillas de la desaladora para que no salga de operación.	D	52, 53, 56.
65.	En reparaciones generales, revisar las conexiones de tierra en las parillas dentro de desaladora.	D	54.



<i>NO.</i>	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>CLASE</i>	<i>ESCENARIO</i>
66.	Instalar indicador de interfase que sea adecuado en tanque FA-4005A/B.	D	57.
67.	Instalar una alarma audible y visible por alta presión de combustible en el cabezal de quemadores de calentadores BA-4001A/B.	D	60, 61, 62, 186, 187.
68.	Tener un interruptor maestro para pasar a modo manual las válvulas FV-4011 a FV-4018 y FV-4020 a FV-4027 (ajustar límites inferior y superior que hacen que el sistema se pase a modo manual, de acuerdo a las necesidades operativas).	D	65.
69.	Estudio costo-beneficio para tener un calentador con la carga térmica adecuada y que cumpla con las normas ambientales aplicables.	D	79, 81, 86, 91, 103.
70.	Configurar alarma por alta temperatura en EA-4015.	D	85, 101.
71.	Extender las plataformas para que los instrumentos estén accesibles para mantenimiento e inspección (en el domo de la DA-4001, instrumentos de control de la válvula FV-4030, el TRC-4022).	D	87, 107, 121.
72.	Conectar termopar del TRC-4022 para control en cascada con el FRC del domo de la torre DA-4001.	D	87, 107.
73.	Instalar y conectar indicador de nivel en el plato 9 al control distribuido.	D	90.
74.	Hacer una prueba hidrostática a la línea de recirculación interna en la reparación general de la planta.	D	92.
75.	Hacer una prueba en frío de la capacidad de la línea de recirculación interna para reducir la presión.	D	92.
76.	Estudio costo-beneficio para realizar tratamiento de gas amargo para la alimentación a sistema de compresión.	D	98, 127, 128.
77.	Realizar estudio costo-beneficio para poner en operación al compresor GB-4001A/R.	D	102, 127, 128.
78.	Solicitar que se lleven a cabo corridas de detección de factor de ensuciamiento en intercambiadores.	D	113.
79.	Realizar estudio costo-beneficio para mejorar el sistema de lubricación en la bomba GA-4001A/B.	D	115.
80.	Realizar el estudio costo-beneficio para controlar el nivel del plato 9 en cascada con la FV-4029.	D	119, 121, 122.
81.	Instalar SIS detectores de gas a agua contra incendio.	D	126.



<i>NO.</i>	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>CLASE</i>	<i>ESCENARIO</i>
82.	Elaborar un procedimiento para verificar periódicamente el funcionamiento de las válvulas automáticas y de directos durante la operación de la planta.	D	142.
83.	Realizar un estudio costo-beneficio para la adaptación de la instalación a las condiciones de operación actuales (la válvula FV-4036 está muy cerrada y se está forzando la bomba GA-4007).	D	145, 153, 162.
84.	Habilitar control en cascada el reflujo del domo de la torre DA-4002.	D	145, 162.
85.	Solicitar que se coloquen plataformas para que los instrumentos (TRC-4023) estén accesibles para mantenimiento e inspección (en la DA-4002).	D	145, 153, 162.
86.	Instalación de sistema de alarmas por fuga en bombas que cuenten con sello doble o en las que se instale.	D	148, 150, 156, 158, 160, 161
87.	Reemplazo de turbina actualizada de la GA-4012A	D	148, 150, 156, 158, 160, 161.
88.	Cambio de casquete del domo de la torre debutanizadora DA-4002.	D	149, 157.
89.	Evaluar la vida útil del cableado y cambiarlo si es necesario.	D	150, 158.
90.	Estudio costo-beneficio para mejorar el sistema de enfriamiento de sellos y rodamientos (instalar una línea de 1").	D	150, 158.
91.	Verificación de valores de PSL en la planta de acuerdo a condiciones de operación actuales	D	151, 159.
92.	Revisar que a falla del elemento de temperatura, en automático se mande a cerrar las válvulas del gas combustible a calentadores.	D	159.
93.	Instalar una alarma audible y visible por alta presión de combustible en el cabezal de quemadores del calentador BA-4002.	D	165, 166, 167, 188, 189.
94.	Verificar que el PSL-4011 esté calibrado.	D	165, 166, 167, 188, 189.
95.	Verificar que se tenga disponible la bomba de relevo para calentador BA-4002.	D	172.
96.	Estudio costo-beneficio para tener un calentador con la carga térmica adecuada y que cumpla con las normas ambientales aplicables (debido a que la chimenea es muy corta).	D	179.



Así mismo se encontraron 29 buenas prácticas de ingeniería que se sugiere que sigan aplicándose correctamente debido a que son importantes para la operación de la planta (*ya se llevan a cabo*).

**TABLA 3.2. – BUENAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA**

<b>NO.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>ESCENARIO</b>
1.	Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.	96, 118, 133, 163, 132, 5, 19, 25, 93, 111, 112, 171, 180
2.	Difusión de los procedimientos operativos y capacitación continua al personal de operación.	118, 140, 5, 22, 40, 41, 111, 112, 123, 182
3.	Verificar que estén abiertas y con candado las válvulas de bloqueo de las PSV's.	143, 170
4.	Pretratamiento a crudo de carga para eliminar agua.	97, 42, 55, 139, 144, 152.
5.	Difusión y seguimiento de los procedimientos operativos para el cambio de tanques de crudo.	2.
6.	Verificar el cumplimiento de programas de mantenimiento a bombas.	3, 38, 66, 169, 49.
7.	Seguir procedimiento operativo para GA-4001A/B/R	10.
8.	Seguimiento a programa de mantenimiento a compresores.	17.
9.	Verificar que se continúe con la modernización de la planta para procesar el crudo de carga actual (100% maya).	28.
10.	Capacitación continua al personal encargado de mantenimiento a instrumentos.	4, 104.
11.	Difusión de los procedimientos operativos y capacitación continua al personal de operación para la detección de obstrucciones en intercambiadores.	6, 12.
12.	Continuar con el mantenimiento a intercambiadores (limpieza interna).	6, 12, 68, 117.
13.	Seguir procedimientos operativos de arranque de la planta.	7, 11, 83.
14.	Verificar que se lleve a cabo el programa de mantenimiento al AR-4003.	80.



<i>NO.</i>	<i>RECOMENDACIONES</i>	<i>ESCENARIO</i>
15.	Verificar que se lleve a cabo el programa de mantenimiento a válvulas de seguridad PSV-301A/B/C de acuerdo al DG-GPASI-IT-0207.	106.
16.	Mejorar comunicación entre personal de operación y de mantenimiento.	112.
17.	Verificar que se cumpla la fecha de entrega de equipo en reparación.	120.
18.	Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.	96, 118, 133, 163, 132, 5, 19, 25, 93, 111, 112, 171, 180
19.	Contar con refacciones y herramientas en calidad, cantidad y a tiempo (especialmente para equipos críticos).	118, 20, 63, 73, 168, 174, 108, 185, 4, 26, 52, 56, 70, 72, 83, 105, 109, 110, 114, 115, 172, 173, 182.
20.	Continuar con el programa de revisión de la alúmina del paquete de secado.	89
21.	Continuar con el análisis de niveles de H <sub>2</sub> S en drenaje aceitoso.	135, 136.
22.	Continuar con la revisión de las válvulas en los paros programados de la planta.	8, 13, 16, 33, 39, 48, 67, 99, 110, 122.
23.	Continuar con el programa de mantenimiento a turbinas e instalar aislamiento a las turbinas que lo requieran con el fin de proteger al personal operativo.	15
24.	Verificar que se les de mantenimiento en el programa de reparación de plantas a válvulas de succión y descarga de bombas GA-4002A/B/R.	27
25.	Continuar con mantenimiento a las válvulas de purga.	40
26.	Verificar que siempre este disponible bomba de relevo para calentadores BA-4001A/B.	70
27.	Verificar que se cuente con herramientas adecuadas para dar mantenimiento a quemadores.	72, 173.
28.	Continuar con al buena comunicación entre Movimiento de productos y la planta Estabilizadora.	92
29.	Verificar que se siga dando el mantenimiento a líneas de directo en la reparación general de la planta.	142



Las recomendaciones encontradas en orden jerárquico son las siguientes:

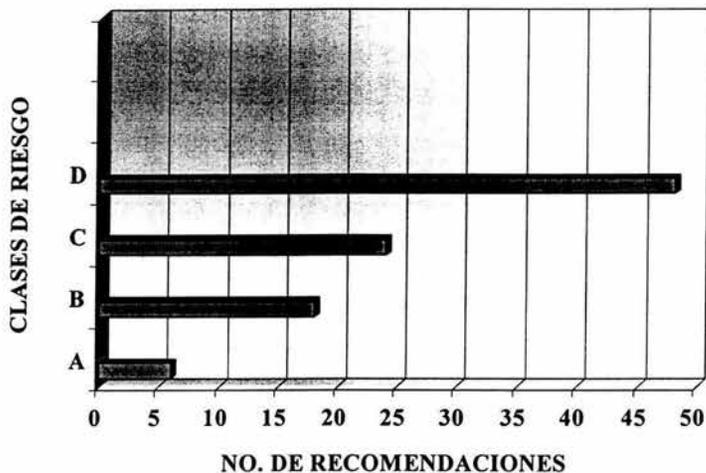


Figura 3.1. – Recomendaciones encontradas por clases de riesgo.

La figura 3.1. nos muestra que la mayor parte de los riesgos localizados fueron de clase D, esto quiere decir que no son riesgos importantes, sin embargo al encontrar riesgos de mayor jerarquía **no se puede decir** que la planta Estabilizadora de Crudo está operando con el mínimo de riesgos posible. Para que una planta se encuentre en el mejor estado posible, los riesgos deben ser prácticamente todos D.

Así mismo se encontró que las recomendaciones que están encaminadas a disminuir los riesgos fueron dirigidas a diversos sectores. La figura 3.2. es sobre los sectores a los cuales se les hicieron las recomendaciones.

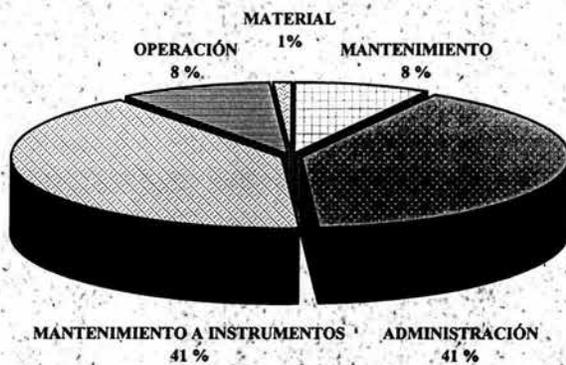


Figura 3.2. – Sectores a los que se les hicieron recomendaciones.

La descripción general de las recomendaciones:

- \* **Material:** se refiere a la recomendación para que estén disponibles las sustancias químicas para el tratamiento.
- \* **Operación:** son las recomendaciones que debe atender el personal de operación, como hacer pruebas en las líneas o llevar a cabo procedimientos que mejoren la operabilidad de la planta.
- \* **Instrumentación:** estas recomendaciones deben atenderse por el personal de mantenimiento a instrumentos, por ejemplo instalación de una válvula de aislamiento de activación remota, o hacer una conexión en cascada.
- \* **Administración:** son todas recomendaciones que sugieren elaborar los procedimientos, así como los estudios costo-beneficio para mejorar la operabilidad de la planta. También incluye algunas acciones o trámites que se necesitan para minimizar un riesgo.



- \* Mantenimiento: recomendaciones que debe atender el personal de mantenimiento general (no se incluye mantenimiento a instrumentos), abarca mantenimiento mecánico, eléctrico, etc.

Los resultados obtenidos (fig. 3.2) muestran que el porcentaje que de recomendaciones para la parte administrativa es el mayor, junto con el de la parte de mantenimiento a instrumentos.

Aunque las buenas prácticas de ingeniería si se llevan a cabo, es necesario fomentarlas e implementarlas y en la lista presentada anteriormente se encuentran las que son de mayor importancia para la planta que es objeto de estudio.



### 3.2. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

Para el evento elegido: INCENDIO POR FUGA EN LAS BOMBAS DE CARGA GA-4001A/B/R se calcularon dos valores de probabilidad, el primero, mediante el Análisis de árbol de fallas y el segundo, mediante una ecuación:

**TABLA 3.3. – PROBABILIDAD DE QUE OCURRA UN INCENDIO EN LAS BOMBAS GA-4001AB/R**

<i>PROBABILIDAD CON LA TÉCNICA (FTA)</i>	<i>PROBABILIDAD CON LA EC. <math>P = 1 - e(-\lambda * t)</math></i>
2.2095E-7	0.095

De acuerdo a los valores anteriores se puede decir que si es probable que ocurra un incendio en las bombas de carga pero es posible disminuir aun más la probabilidad de que se suscite el evento culminante estudiado. Para esto se recomienda:

- ✓ Mantener siempre actualizados y en español los procedimientos de operación, mantenimiento, etc.
- ✓ Contar con los procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo a equipo dinámico.



- ✓ Supervisar que el trabajo se realice conforme se establece en el procedimiento.
  
- ✓ Mantener en forma frecuente la comunicación entre ingenieros y obreros, utilizando la terminología estándar, realizando repeticiones y retroalimentaciones, no dando mensajes muy largos y evitar realizarlas en ambientes ruidosos.
  
- ✓ Continuar dando mantenimiento preventivo y predictivo a equipo dinámico e instrumentos de control en las fechas establecidas, utilizando el material original y adecuado.

Para ver las causas raíz de este evento culminante elegido se puede consultar el apéndice 1.2.



### 3.3. RESULTADOS DE ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

La simulación llevada a cabo fue una ruptura catastrófica en el acumulador FA-4004 de reflujo del domo de la torre desbutanizadora DA-4002 de la planta Estabilizadora de Crudo.

Los resultados obtenidos son los siguientes:

**TABLA 3.4. – BLEVE / BOLA DE FUEGO**

<i>BLEVE/BOLA DE FUEGO</i>		<i>DISTANCIA (m)</i>		
		<i>RADIACIÓN (Kw/m<sup>2</sup>)</i>		
		<i>1.4</i>	<i>5.0</i>	<i>12.5</i>
<i>CATEG.</i>	2.7m/s, A	556.998	308.36	198.426

**TABLA 3.5. – EXPLOSIÓN INMEDIATA**

<i>EXPLOSIÓN INMEDIATA</i>		<i>DISTANCIA (m)</i>		
		<i>SOBREPRESIÓN (psi)</i>		
		<i>0.5</i>	<i>1.0</i>	<i>2.0</i>
<i>CATEG.</i>	2.7m/s, A	503.365	306.447	193.136

**TABLA 3.6. – EXPLOSIÓN TARDÍA**

<i>EXPLOSIÓN TARDÍA</i>		<i>DISTANCLIA (m)</i>		
		<i>SOBREPRESIÓN (psi)</i>		
		<i>0.5</i>	<i>1.0</i>	<i>2.0</i>
<i>CATEG.</i>	2.7m/s, A	477.194	310.397	245.957

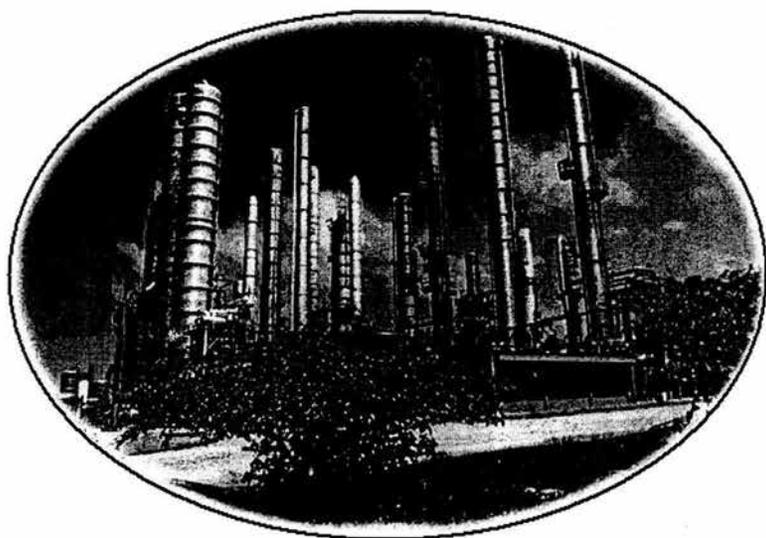
Los diagramas donde se representan los escenarios arriba descritos son FQ-AC-EC-01, 02 y 03.

Se estimaron las consecuencias para una ruptura catastrófica en el acumulador de reflujo del domo de la torre desbutanizadora y se encontró que era posible que tras la ruptura se produjeran:

- Una bola de fuego, la zona de alto riesgo tiene un radio de aprox. 200 m.
- Una explosión inmediata, la zona de alto riesgo tiene un radio de afectación de 193 m.
- Una explosión tardía, la zona de alto riesgo tiene un radio de afectación de 246 m.

# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES



Los resultados del trabajo realizado son contrastados con lo que se esperaba en la hipótesis, con conclusiones particulares de cada análisis (además de las conclusiones generales). Se explica por qué se obtuvieron esos resultados y si se cumplió el objetivo principal (identificación y evaluación de riesgos de la planta Estabilizadora de Crudo).



## 4. CAPÍTULO IV – CONCLUSIONES

### 4.1. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD

- \* La técnica de análisis de riesgos y operabilidad fue útil para identificar los riesgos de proceso de la planta y encontrar soluciones para disminuirlos. De esta forma, se hicieron 96 recomendaciones a fin de mejorar la operabilidad de la planta y disminuir dichos riesgos.
- \* Se elaboró una lista de 29 buenas prácticas de ingeniería para ayudar difundirlas; sin embargo, promover esas prácticas es responsabilidad de los ingenieros encargados de la planta.
- \* De acuerdo a la figura 3.2. que se muestra en el capítulo III, se encontró que las fallas en el mantenimiento a la instrumentación se encuentran en igual porcentaje que las fallas administrativas (las recomendaciones son hechas en ese sentido), por lo que se debe poner mayor atención a ambas áreas.
- \* Se estableció un compromiso de cumplimiento de las recomendaciones encontradas por medio de un plan de trabajo con fechas de compromiso.
- \* Se cumplieron los objetivos planteados para esta parte del análisis debido a que como se mencionó en los puntos anteriores, se obtuvieron formas de mejora en la operación y minimización de los riesgos existentes para llevar un control adecuado de la planta.



## 4.2. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

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

Sin embargo se tiene una aproximación precisa con el Análisis de Árbol de Fallas el cual indica la probabilidad de ocurrencia de dicho evento y ayuda a prevenir o predecir el evento culminante en dado caso que se obtenga una probabilidad alta.

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

Al obtener las causas raíz (que se muestran en los diagramas anexos), se puede tener una idea mas completa de que es lo que puede originar un evento no deseado y de esta forma prevenirlo mucho antes de que este ocurra.

En el caso de estudio, las probabilidades obtenidas para que ocurra un evento culminante (el incendio de las bombas) pueden ser disminuidas como se mencionó en los resultados.



### 4.3. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Como se muestra en los resultados, se pueden tener consecuencias muy graves. Por lo que para evitarlas es necesario aplicar correctamente y exactamente los sistemas de permisos de trabajo tanto para trabajos de bajo riesgo como para los de alto riesgo.

También se deben cumplir reglamentos internos de la empresa, como los lineamientos que establece la Administración del Cambio, con el propósito de mantener actualizados los DTI's, DFP's de la planta, así como la aplicación el análisis de riesgos y operabilidad en cada modificación que se realice en la planta tanto de equipos, proceso y operaciones, para detectar todos los riesgos potenciales y no potenciales que puedan suscitarse con dicha modificación.

De la misma forma, se deben mantener en automático todos los instrumentos y sistemas de seguridad que así estén configurados para evitar, que en el caso de que se suscite algún incidente, tengan que ser actuados en forma manual. También, se deben de incluir en el procedimiento para el manejo de cambios las condiciones bajo las cuales se realizará el cambio de modo automático a manual para identificar los riesgos asociados con este tipo de cambios así como para determinar las medidas adecuadas de prevención si se llegara a suscitar un evento estando en modo manual alguno de los sistemas de control operacional o de seguridad.

Se debe continuar con la difusión de los planes de contingencias reforzándolo con ejercicios o simulacros de emergencia y evacuación de casos previstos e imprevistos para identificar y corregir las fallas en los planes de emergencias y desastres, verificar los tiempos de respuesta a emergencias, corroborar el correcto funcionamiento del sistema contra incendio de la planta, así como los simulacros operacionales.



Así mismo, cumplir estrictamente el programa anual de inspección técnica, seguridad y contra incendio de la planta. Además, reparar las fugas que lleguen a presentarse lo más pronto posible, aun cuando sean pequeñas, y no esperar a que se origine una de mayor tamaño.

Finalmente cabe mencionar que este análisis es muy sensible a los datos iniciales, por lo que fue muy importante verificar que estos datos fueran actuales y correctos. Esto para obtener resultados coherentes.



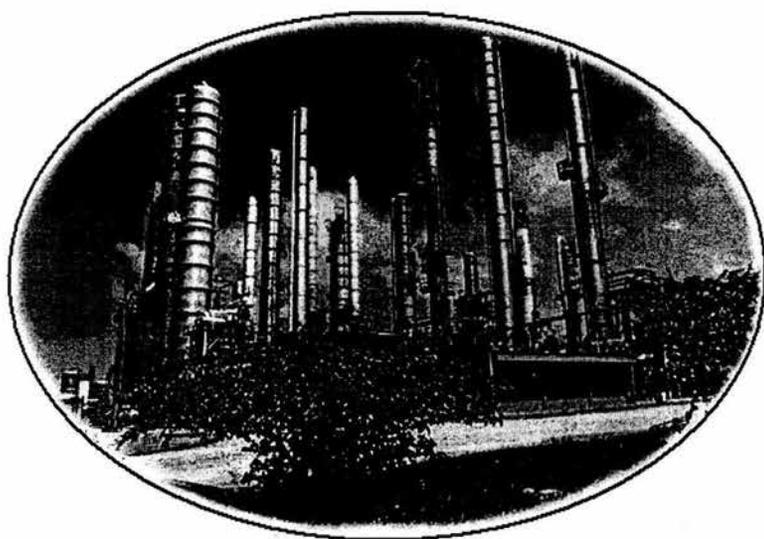
#### 4.4. CONCLUSIONES GENERALES

Ya se han explicado los resultados obtenidos en la identificación y evaluación de riesgos, y de esta forma se puede concluir que los objetivos planteados para este trabajo de tesis se cumplieron. Sin embargo, no es posible implementar las recomendaciones obtenidas después de la evaluación de riesgos sin lograr que el personal que participa directamente en la operación y mantenimiento de la planta esté consciente de los riesgos de la misma y que esté capacitado para enfrentarlos.

El método utilizado para el análisis de riesgos y operabilidad (HazOp) fue adecuado para el caso de la planta estabilizadora de crudo y sirvió para contrastar distintos puntos de vista de una instalación (puntos de vista de cada especialista). Pero también hay que considerar que una gran desventaja de este análisis es que las **modificaciones** que se recomendaron realizar en la instalación, *deben* analizarse con mayor detalle además de incluir otros criterios, como los económicos.

Por otro lado, la hipótesis elaborada fue correcta, porque los resultados muestran que las dificultades que enfrenta el personal de la planta se deben a que se usa una carga diferente a la de diseño. Sin embargo, es posible seguir operando la planta y siguiendo las recomendaciones encontradas, se operará con el mínimo de riesgos posible. La figura 3.2. muestra un porcentaje de 41 % de recomendaciones van dirigidas a el personal de mantenimiento a instrumentos, lo que pone en evidencia un área que debe ser atendida con prontitud. Es porcentaje se debe a que es necesario hacer actualizaciones de los sistemas de medición y control de la planta; por otro lado, los instrumentos requieren que se les de mantenimiento más frecuentemente que los demás equipos de la planta, sobre todo por las condiciones en que se encuentra la carga.

## **APÉNDICE 1.1.**



## **INFORMACIÓN DE LA PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDO**



## APÉNDICE 1.1 – INFORMACIÓN ADICIONAL DE LA ESTABILIZADORA DE CRUDO

### 1.1. DESCRIPCIÓN DEL FLUJO.

Para la descripción de la unidad estabilizadora de crudo pueden considerarse las siguientes secciones:

- Desalado y calentamiento,
- Estabilización y fraccionamiento.

#### 1.1.1. SECCIÓN DE DESALADO Y CALENTAMIENTO.

El crudo de alimentación a la planta llega a succión de las bombas GA-4001A/B/R a una temperatura de 29 °C y prácticamente 0 Kg/cm<sup>2</sup>.

Las bombas de carga son tres: las GA-4001AB y R la primera accionada por turbina de vapor y las últimas dos accionadas por motor eléctrico. Son suficientes dos para proporcionar la carga normal a la planta. Las bombas descargan el crudo a 27 Kg/cm<sup>2</sup> man y lo envían a razón de 160 000 BPD a la torre estabilizadora DA-4001 a través de dos trenes de precalentamiento dispuestos en paralelo. El flujo manejado por las bombas de carga es medido por el registrador FR-4001; se cuenta con la alarma de bajo flujo FAL-4001. En la succión de las bombas GA-4001A/B/R se inyecta el desemulsificante IMP-RHS-5 por medio de las bombas GA-4013 X/XR.

La distribución de los flujos de carga a cada tren de precalentamiento se logra por medio de los controladores de flujo FIC-4002 y FIC-4003, que trabajan en cascada con el control de presión PRC-4001 colocado en el cabezal de carga a los calentadores de fuego directo BA-4001A/B, con el objeto de controlar la presión a través de los trenes de precalentamiento y de las desaladoras, para evitar vaporización del crudo.



El flujo medido y controlado por FIC-4002, pasa sucesivamente por el lado de los tubos de los cambiadores del tren "A" EA-4001, 4003, 4005, 4007 y 4009 antes de entrar a la desaladora FA-4005A. Así, el crudo incrementa su temperatura a través de estos cambiadores desde 27 hasta 110 °C. Antes de entrar a la desaladora, a esta corriente se le inyecta agua tratada en proporción de 4 a 6% con respecto al crudo. La cantidad de agua se controla con FIC-4007. Ahora crudo y agua pasan por dos válvulas mezcladoras para entrar a la desaladora FA-4005A.

El efluente de esta desaladora, consiste en crudo desalado, continúa por lado de los tubos de los cambiadores EA-4011 y 4013, en donde se calentó de 110 hasta 195 °C hasta llegar al cabezal de carga a los calentadores de fuego directo.

El flujo medido y controlado por FIC-4003, pasa sucesivamente por el lado de los tubos de los cambiadores del tren "B" EA-4002, 4004, 4006, 4008, 4010 antes de entrar a la desaladora FA-4005B. Así, el crudo incrementa su temperatura a través de estos cambiadores desde 27 hasta 110 °C. Antes de entrar a la desaladora, a esta corriente se le inyecta agua en forma similar al tren "A". El agua se mide con FIC-4008. Después de adicionar el agua, crudo y agua pasan por dos válvulas mezcladoras y entran a la desaladora FA-4005B.

El efluente continúa por el lado de los tubos de los cambiadores EA- 4012 y 4014 en donde sucesivamente se calentó desde 102 hasta 205 °C, para llegar en estas condiciones al cabezal de carga a los calentadores de fuego directo, donde se junta con la corriente proveniente del tren "A".



### 1.1.1.2. DESALADORAS FA-4005A/B

Por las condiciones de suministro de crudo en el país, la planta opera procesando crudo 100 % Maya. Debido a esto, las condiciones de operación de la planta se ven afectadas por el alto contenido de sales e impurezas en este crudo de carga.

Como consecuencia, se modificaron los componentes internos de las desaladoras, de un diseño monoeléctrico a un diseño bielétrico y de esta forma se optimizó el proceso de desalado para obtener un crudo desalado de mejor calidad.

El objetivo de la readecuación de las desaladoras de la Planta Estabilizadora de Crudo es *reducir*:

- El ensuciamiento de los precalentadores, ya que los sólidos y ácidos formados por la hidrólisis de las sales acentúan el problema de ensuciamiento.
- La corrosión en el domo de la torre, porque el aumento de la corrosión se debe al incremento de las sales en el agua.
- El taponamiento de los intercambiadores, condensadores y platos de la torre fraccionadora.
- Los costos por el exceso de calentamiento de los hornos de las torres.
- El excedente de agua enviado con el crudo al calentador de carga.
- El consumo de aditivos.
- Los sólidos que causan el aumento de erosión en las líneas y en los impulsores de las bombas.

El agua tratada que se alimenta a las dos desaladoras se toma del tanque FB-4004 con las bombas GA-4014A/R, que la descargan a 21.1 Kg/cm<sup>2</sup> man. Antes de mezclarse con el crudo, esta agua se divide en dos corrientes, cada una de las cuales se precalienta en su respectivo tren de precalentamiento para mantener la temperatura adecuada para mezclarse con el crudo.



La corriente que se alimentará al crudo del tren “A” se precalienta con salmuera hasta 57 °C y con vapor de baja presión hasta 102 °C en los cambiadores EA-4023A y EA-4024A respectivamente. Finalmente el flujo de esta corriente se mide y se controla con FIC-4007 para mezclarse con el crudo en la proporción señalada. Corriente debajo de los cambiadores se encuentran instalados termómetros de carátula para conocer la temperatura que alcanzó el agua en su precalentamiento.

La corriente que se alimentará al crudo del tren “B” se precalienta con salmuera hasta 57 °C y con vapor de baja presión hasta 102 °C en los cambiadores EA-4023B y 4024B respectivamente. Finalmente el flujo de esta corriente se mide y se controla con FIC-4008 para mezclarse con el crudo en la proporción señalada. Corriente debajo de los cambiadores se encuentran instalados termómetros de carátula para conocer la temperatura que alcanzó el agua en su precalentamiento.

La salmuera efluente de las desaladoras sale de éstas a control de nivel, controlándose con sus respectivos LIC’s (LIC – “Level Indicator Controller” – Indicador controlador de nivel) colocados en sus tableros locales de control.

El tanque de condensado FB-4004 mantiene un nivel automáticamente controlado por LIC-4011 que acciona la automática LV-4011 que permite el paso de agua tratada hacia este tanque, además recibe una corriente de agua de apagado de la Planta de Etileno.

Las desaladoras pueden trabajar indistintamente con cualquiera de los trenes de precalentamiento de crudo. Asimismo, las desaladoras cuentan con las bombas GA-4017A/R que son utilizadas en la remoción de los lodos en el fondo de las desaladoras. Esta remoción se lleva a cabo por recirculación de la salmuera en el fondo de la desaladora.

Los efluentes de ambas desaladoras después de proseguir su precalentamiento como se indicó anteriormente, se unen en el cabezal de carga a los calentadores de fuego directo BA-4001A/B en donde se encuentra colocado el control de presión PRC-4001 que, como



ya se dijo antes, reajusta los controles de flujo de cada tren para mantener estos a una presión constante, de  $13.4 \text{ Kg/cm}^2$ . La caída de presión a través de cada tren de precalentamiento es del orden de  $14.6 \text{ Kg/cm}^2$ .

### 1.1.1.3. CALENTADORES DE CARGA BA-4001A/B

Cada calentador está constituido por una sección de convección y dos celdas de radiación; cada celda contiene cuatro serpentines de los ocho que entran a convección y un cabezal común de salida de 16" de diámetro. Los dos cabezales de 16" de cada calentador se unen finalmente en uno solo de 24" en donde se encuentran instalados los elementos primarios para control de temperatura de los calentadores.

Cada celda tiene un sistema independiente para control de presión de gas combustible a quemadores y pilotos: PIC-4003A y PIC 4003B para quemadores de las celdas A y B respectivamente del calentador BA-4001A; PIC-4006A y PIC 4006B para quemadores de las respectivas celdas del calentador BA-4001B.

Los controles de presión de gas a quemadores de ambas celdas de cada calentador, son gobernados a su vez, en forma simultánea y en cascada, por los controles de temperatura de cada calentador colocados en los cabezales generales de salida de éstos (24") y que son: TRC-4011 para el calentador BA-4001A y TRC-4021 para el calentador BA-4001B.

Los controles de presión de gas a quemadores en cada celda, pueden independizarse de la cascada respectiva para operar alguna de las celdas a régimen un poco diferente (si hubiere razones para ello), pero es recomendable que la otra celda permanezca en cascada, a control automático de temperatura para compensar pequeñas diferencias que pudieran producirse en la celda operada sólo a control de presión.



Los controles de presión para el gas de pilotos en las celdas A y B del calentador BA-4001A, son las válvulas autorregulables PCV-4001A y PCV-4001B; para el calentador BA-4001B son respectivamente las válvulas PCV-4002A y PCV-4002B. En ambos calentadores la presión de alimentarios de gas combustible es como sigue:

<i>SERVICIO</i>	<i>MÍNIMA</i>	<i>NORMAL</i>	<i>MÁXIMA</i>
A Quemadores (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.40	1.10	1.75
A Pilotos (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.15	0.40	0.60

En los sistemas de gas combustible de cada una de las celdas, se tienen los elementos de protección necesarios para evitar condiciones peligrosas. Estos elementos son los siguientes: en calentador BA-4001A: se tienen los switches PSL-4002A y 4002B que a través de sus respectivas solenoides disparan sendas válvulas de corte para impedir que llegue gas a los quemadores después de una situación de baja presión que los hubiese apagado. Previo a la acción de las solenoides mencionadas, las alarmas por baja presión PAL-4003A y PAL-4003B advierten de las condiciones de presión antes de llegar a la situación extrema de corte.

Para el sistema de pilotos se tienen los PSL-4004A y PSL-4004B y las alarmas PAL-4004A y PAL-4004B que actúan en la misma forma descrita para el sistema de quemadores. Además se cuenta con los botones de pánico BS-4001A y BS-4001B colocados en el tablero de instrumentos del cuarto de control, los cuales pueden ser accionados a voluntad del operador para actuar las solenoides de los sistemas de quemadores de la celda que se desea apagar totalmente por situación de peligro. Finalmente el consumo de gas combustible a cada celda se registra respectivamente en FR-4019A y 4019B.



En el calentador BA-4001B, los switches que accionan las solenoides para disparar las válvulas de corte de gas a quemadores son los PSL-4005A y PSL-4005B; las alarmas de baja presión a quemadores son PAL-4006A y 4006B; los switches para disparo de pilotos por baja presión son PAL-4007A y 4007B; las alarmas de baja presión a pilotos son PAL-4007A y 4007B; los botones de pánico BS-4002A y BS-4002B y finalmente los registradores de flujo de gas consumido son los FR-4028A y FR-4028B; toda esta instrumentación trabajando en forma idéntica a la descrita para el calentador BA-4001A.

Del cabezal de carga a calentadores que es de 18" se derivan dos de 16" que alimentan respectivamente a los ocho serpentines de cada calentador a través de sendas automáticas que son accionadas por sus correspondientes controladores, los que, para el caso del BA-4001A van del FRC-4011 al FRC-4018 y para el caso del calentador BA-4001B van del FRC-4020 al FRC-4027.

En condiciones de diseño cada automática alimenta a su respectivo serpentín con 12,500 B/D de crudo desalado a 195 °C. En estos calentadores el crudo incrementa su temperatura de 195 °C hasta 255 °C. En la alimentación a cada serpentín se encuentra instalada una alarma por bajo flujo y un manómetro para determinar caídas de presión.

Las alarmas por bajo flujo a serpentines van de FAL-4011 a FAL-4018 para el calentador BA-4001A y de FAL-4020 a FAL-4027 para el calentador BA-4001B.

Los manómetros en la entrada a cada serpentín (PI-4036 al PI-4043 para BA-4001A y PI-4044 al PI-4051 para BA-4001B) se usarán en combinación con los que están colocados en los cabezales de salida general de 24" de cada calentador (PI-4052 y PI-4053) para determinar caídas de presión. En las salidas de cada serpentín se tienen termopares con indicación en consola, además de alarmas por alta temperatura en el mismo punto, para detectar problemas individuales de flujo, temperaturas, distribución de flamas etc.



En el cabezal general de salida de cada calentador (24") se tiene, además del control de temperatura un termopar con indicación en consola y alarma por alta temperatura con los que se pueden verificar o advertir las condiciones de la salida adjunta de cada calentador: TI-4000-25 y TAH-4011 para BA-4001A; TI-4000-24 y TAH-4021 para BA-4001B.

Después de las automáticas de alimentación a cada serpentín, se tienen líneas de 1 ½" con válvulas check para inyectar vapor de media presión y aire de plantas para el decoquizado de los serpentines.

En cada de una de las celdas de los calentadores se tienen termopares para conocer la temperatura de los gases de combustión en los siguientes puntos: partes inferior y superior de radiación, salida de convección y salida a chimenea. Estos elementos evitarán llegar a temperaturas anormales en los componentes de los calentadores, especialmente la pared de los tubos y la soportería. Para el calentador BA-4001A y en el orden mencionado los termopares son: TI-4000-40, 4, 3, 45 en la celda A y TI-4000-41, 13, 3, 45 en la celda B, teniendo además la alarma por alta temperatura TAH-4002 colocada antes de la mampara de tiro. Para el calentador BA-4001B se tienen TI-4000-43, 42, 14, 46 en la celda A y TI-4000-44, 23, 14, 46 en la celda B además de la alarma TAH-4012.

La regulación del tiro en las cámaras de combustión de los calentadores se efectúa manualmente; con el HCE-4001 en calentador A, y midiéndose con el vacuómetro PI-4001 en: partes inferior y superior de radiación de cada celda, salida de convección y antes y después de la compuerta del tiro. En el calentador B la regulación se hace con HCE-4002 y la medición con PI-4002 en los mismos puntos.

El crudo que sale de éstos calentadores se envía hacia la torre estabilizadora por 2 líneas de 24" de diámetro, a 255°C, 1.8 Kg/cm<sup>2</sup> de presión y con 25% de vaporización.



#### 1.1.1.4. SECCIÓN DE ESTABILIZACIÓN Y FRACCIONAMIENTO

Esta sección esta constituida por las torres estabilizadora (DA-4001), fraccionadora (DA-4002) y sus equipos complementarios como son los acumuladores de reflujo FA-4001 y FA-4004, bombas GA-4002A/B/R y GA-4012A/R, condensadores, hervidor de fondos BA-4002, etc.

##### 1.1.1.5. ESTABILIZADORA DA-4001

La torre estabilizadora DA-4001, que tiene 16 platos de válvulas tipo "ballast", es alimentada por dos líneas de 24" que provienen de los calentadores BA-4001A/B. La torre opera a 255 °C y 1.28 Kg/cm<sup>2</sup> en el fondo y 153 °C con 1.17 Kg/cm<sup>2</sup> en el domo.

La carga entra a la torre 25 % vaporizada y a 255 °C; el producto el fondo es el crudo estabilizado que se envía a la T.M.P y Nuevo Teapa.

El crudo estabilizado se extrae a control de nivel de la torre (LIC-4003) con las bombas GA-4002A/B/R y se envía a limites de batería después de haber cedido calor al crudo de carga en ambos trenes de precalentamiento y de enfriarse finalmente hasta 50 °C en los enfriadores de crudo estabilizado EA-4022A/D. Para lo anterior el flujo de descarga de las bombas GA-4002 se divide en dos corrientes mediante los controladores de flujo FIC-4005 y 4004 colocados corriente abajo lado coraza de los cambiadores EA-4001 y EA-4002 al final del recorrido del crudo estabilizado por los trenes de precalentamiento A y B respectivamente. Los controladores FIC-4004 y FIC-4005 trabajan en cascada simultánea con el control de nivel de la torre LIC-4003 para asegurar flujos iguales de crudo estabilizado por ambos trenes de precalentamiento.



Finalmente esta corriente se enfría con agua en los enfriadores EA-4022A/D y se envía a límites de batería a razón de 160 000 BPD después de medirse en FR-4006. La alarma por flujo bajo FAL-4006 enlaza con este medidor advertirá del paro de alguna de las bombas de fondos de la torre estabilizadora (GA-4002 AB/R), antes de que suene la alarma por nivel alto de la propia torre.

La torre estabilizadora DA-4001 opera además con una “recirculación lateral” (62771 BPD) que es extraída del plato # 9 de la torre a 180 °C con las bombas GA-4003A/R, intercambia calor con el crudo de carga en los cambiadores EA-4005, 4006 y 4008 y regresa al plato # 6 de la torre a 95 °C. Esta recirculación contribuye a crear las condiciones de equilibrio operacional de la torre, disminuyendo a su vez la carga térmica de los condensadores del domo. La recirculación hacia la torre se controla con FRC-4029 y con la alarma por bajo flujo FAL-4029.

La temperatura del domo de la torre se controla a 152 °C con TRC-4022, el cual opera en cascada con el reflujo al domo regulado por el FRC-4030. El reflujo al domo es manejado por las bombas GA-4004A/R; el exceso de reflujo es manejado por las bombas GA-4005A/R como producto del domo de la torre estabilizadora (gasolina sin estabilizar) que sale del acumulador del reflujo FA-4001 a control de nivel de éste (LIC-4005) y es enviado a razón de 25000 BPD como carga a la torre desbutanizadora DA-4002.

Los vapores del domo de la torre estabilizadora a 152 °C, son enfriados a 45 °C y parcialmente condensados en los condensadores EA-4015A/D. La fase líquida constituye el producto líquido de la torre (gasolina sin estabilizar) que como ya se dijo antes, es enviada como carga a la torre desbutanizadora DA-4002 y también es utilizada como reflujo de la propia torre DA-4001. La fase gas, esencialmente C<sub>4</sub>, C<sub>3</sub> y más ligeros, se envía al tambor de succión FA-4002 del compresor GB-4001. Este tambor opera a 1.125 Kg/cm<sup>2</sup> controlando su presión con PIC-4008A, que en rango dividido, acciona primero la automática PCV-4008A para mandar el gas al compresor GB-4001 y después la automática



PCV-4008B cuando el compresor tenga poca capacidad o cuando haya salido de operación. Al fijar la presión de trabajo del tambor FA-4002 automáticamente queda fijada la presión de la torre estabilizadora DA-4001.

Al domo de la torre estabilizadora se le inyecta una solución de Amina Neutralizante mediante la línea ¾"-SR710-A2A que se inyecta en la línea de reflujo al domo después de la automática de reflujo FCV-4030. El objeto de esta inyección es de evitar la corrosión de la torre y sus internos por la neutralización de los componentes ácidos de los vapores como HCl, H<sub>2</sub>S y CO<sub>2</sub>. A la línea del domo de la torre, además de la solución de Amina Neutralizante en proporción de 20 ppm máximo, se le inyecta también un inhibidor de corrosión IMP-ICIN-3, en proporción de 6-8 ppm con respecto al flujo del domo. La solución de Amina Neutralizante debe ir en dilución 1:1 con agua para su dosificación. Estas cantidades son cantidades base que pueden ser modificadas según las necesidades.

Las sustancias inyectadas a la línea del domo de la torre tienen como objetivo proteger de la corrosión, la propia línea, los condensadores de la torre y el acumulador de reflujo de la misma.

El acumulador de reflujo FA-4001 tiene una pierna de separación donde se colecta el agua que sale del domo de la torre. Esta agua es extraída de la pierna de separación a control de nivel de la misma (LIC-4004) mediante las bombas de agua amarga GA-4015A/R que la envían a límites de batería.

#### 1.1.1.6. COMPRESOR DE GAS DE LA ESTABILIZADORA: GB-4001

La fase gas que se obtiene del acumulador de reflujo de la estabilizadora FA-4001, se recibe a 40 °C en el tambor de succión FA-4002, controlando su presión a 1.125 Kg/cm<sup>2</sup> alimenta al compresor GB-4001 1.883 MMPCS/D de gas cuya composición es esencialmente C<sub>4</sub>, C<sub>3</sub> y más ligeros. El compresor eleva la presión de este gas hasta 6.33 Kg/cm<sup>2</sup> con una temperatura de 95.6 °C y lo envía al separador del efluente del compresor



FA-4003, vía enfriador EA-4016 donde la temperatura del gas desciende hasta 44 °C provocando la condensación parcial del mismo.

Del separador FA-4003, que opera a 44 °C y 5.63 Kg/cm<sup>2</sup>, parte del gas se recircula hacia la succión del compresor vía PCV-4009, para mantener constante la presión de succión que es controlada por PRC-4009. El medidor FR-4032 antes de PRC-4009 cuantifica esta recirculación.

En el tambor de succión del compresor, FA-4002, está instalado el switch de corte LSH-4006 que por nivel alto para el motor del compresor para evitar daños a este último. La automática PCV-4008B que en rango dividido con PCV-4008A controla la presión el tambor de succión FA-4002, enviará el gas al desfogue cuando el compresor salga de operación o cuando no tenga la capacidad necesaria para manejar todo el gas.

En el separador del efluente del compresor FA-4003, la fase gas que no se recircula hacia el compresor, es enviada a límite de batería como gas amargo producto, a control de presión de este separador (PIC-4010), vía PCV-4010, uniéndose con el gas amargo producto que proviene del acumulador de reflujo de la torre desbutanizadora y midiéndose junto con éste en FR-4039. La fase líquida del separador, esencialmente C<sub>4</sub> y más pesados, sale a control de nivel de éste (LIC-4008), se une a la fase líquida del acumulador de reflujo de la estabilizadora DA-4001 y se manda como carga a la torre desbutanizadora DA-4002 con las bombas GA-4006A/R vía LCV-4008 y EA-4018A/B/C lado tubos.

#### 1.1.1.7. TORRE DESBUTANIZADORA DA-4002

La torre desbutanizadora que tiene 32 platos de válvulas tipo “ballast”, recibe la carga 6.4 % vaporizada a 142 °C en el plato # 20. La carga llega por la línea 12"-P-402-A12A a razón de (25000 BPD) proveniente del acumulador de reflujo de la torre Estabilizadora y del separador de la descarga del compresor (530 BPD). La torre opera a 175 °C con 8.0



$\text{Kg/cm}^2$  en el fondo y  $75\text{ }^\circ\text{C}$  con  $8.4\text{ Kg/cm}^2$  en el domo. La temperatura del fondo se mantiene por la recirculación de 121543 BPD de gasolina a través del calentador de fondos BA-4002 que la devuelve a la torre 25 % vaporizada y a una temperatura de  $186\text{ }^\circ\text{C}$ . La temperatura del domo se controla con la cantidad de reflujo que controla al plato # 1 de la torre a  $75\text{ }^\circ\text{C}$  proveniente del acumulador de reflujo de la propia torre: FA-4004. La cantidad de reflujo (7500 BPD), se controla con FRC-4036 que a su vez es controlado en cascada por el control de temperatura del domo TRC-4023, colocado en la línea de salida de vapores de la torre 12"-P-403-A12A.

Los fondos de la torre desbutanizadora, constituyendo el producto de gasolina desbutanizada (23000 BPD) salen a control de nivel de la propia torre (LIC-4009) y son enviados por diferencia de presión a almacenamiento, o como carga a la planta Hidrodesulfuradora de naftas, vía EA-4018A/B/C lado coraza, LCV-4009. El destino normal de esta gasolina es la planta HDS-N (C-1086 IMP) a donde se envían a  $120\text{ }^\circ\text{C}$  sin pasar por el enfriador EA-4020, vía línea 8"-P-412-1-A2A en donde se encuentra instalada una válvula automática accionada por la solenoide SV-4015 que cerrará cuando haya nivel alto en el tanque de balance FA-2001 de la planta HDS-N. El destino alterno de este producto son los tanques de almacenamiento, a donde se enviará a  $38\text{ }^\circ\text{C}$  después de pasar por el enfriador EA-4020 vía línea 8"-P-412-A2A hacia el TV-105/106 del Área de Movimiento de Productos cuando en la planta HDS-N no se pueda procesar este producto.

Los domos de la torre desbutanizadora, a  $74\text{ }^\circ\text{C}$  y  $8.4\text{ Kg/cm}^2$  de presión se reciben en el acumulador de reflujo de la torre FA-4004 después de haberse condensado en los condensadores con agua EA-4019A/B. El acumulador de reflujo opera a  $44\text{ }^\circ\text{C}$  y a  $8.2\text{ Kg/cm}^2$  de presión; la presión se mantiene en este acumulador mediante el controlador de presión PIC-4014 que en rango dividido acciona las automáticas PCV's-4014 A y B. La primera envía gas amargo a la planta fraccionadora de hidrocarburos y la segunda lo envía al desfogue cuando no puede ser procesado. Cuando el gas es enviado a la planta fraccionadora se cuantifica con el registrador de flujo FR-4039.



La fase líquida del acumulador es succionada por las bombas GA-4008A/R y GA-4007A/R, las primeras envían esta corriente, constituida por C<sub>4</sub> y más ligeros a control de nivel del acumulador (LIC-4010) a la planta fraccionadora o bien a almacenamiento vía LV-4010. En el primer caso la corriente se cuantifica por medio del registrador de flujo FR-4041 y en el segundo mediante el registrador FR-4040. Las bombas GA-4007 manejan el reflujo de la torre desbutanizadora que se envían a la torre a través de la automática FCV-4036; La alarma por bajo flujo FAL-4036 indica la falta de reflujo por falla de las bombas o de la automática de control.

#### 1.1.1.8. CALENTADOR DE FONDOS BA-4002

El calentador a fuego directo BA-4002 es el que proporciona el calor necesario para la operación de la torre desbutanizadora DA-4002. Está constituido por cuatro serpentines por donde recirculan los fondos de la torre DA-4002 manejados por las bombas GA-4012T/R. La bomba de operación normal es la accionada por turbina, la de relevo está implementada con arranque automático por bajo flujo, con el FSL-4035, para evitar daños al calentador en caso de falla de la bomba GA-4012 T.

Los flujos a los serpentines del calentador (30386 BPD c/u), están controlados por los controladores de flujo FRC-4049 a 4052 los cuales accionan respectivamente las automáticas FCV-4049 a 4052. A los controladores de flujo se encuentran acopladas sendas alarmas por bajo flujo (FAL-4049 a 4052) que advertirán de situaciones anormales de cada serpentín. En el cabezal de alimentación a serpentines se encuentra instalado el switch FSL-4035 para el arranque automático de GA-4012. Adelante de cada automática de carga a serpentines se tienen inyecciones de vapor de alta presión que podrán utilizarse en los diversos tipos de problemas que pueden presentarse como fugas de serpentines, fallas de flujo, etc. También se tienen manómetros a la entrada de cada serpentín (4089 a 4092) y en



el cabezal de salida general (PI-4072) para evaluar caídas de presión. Para conocer las temperaturas del hogar se tienen los termopares TI-4000-47 y TI-4000-39; para la entrada de los gases de combustión a convección TI-4000-38; antes de la mampara de la chimenea TI-4000-37 con la alarma por alta temperatura TAH-4025. La presión en el hogar, entrada a convección, entrada al tiro, y después de la mampara se miden con el vacuómetro local PI-4003. Para ajustar el tiro se cuenta con el volante manual HCE-4003.

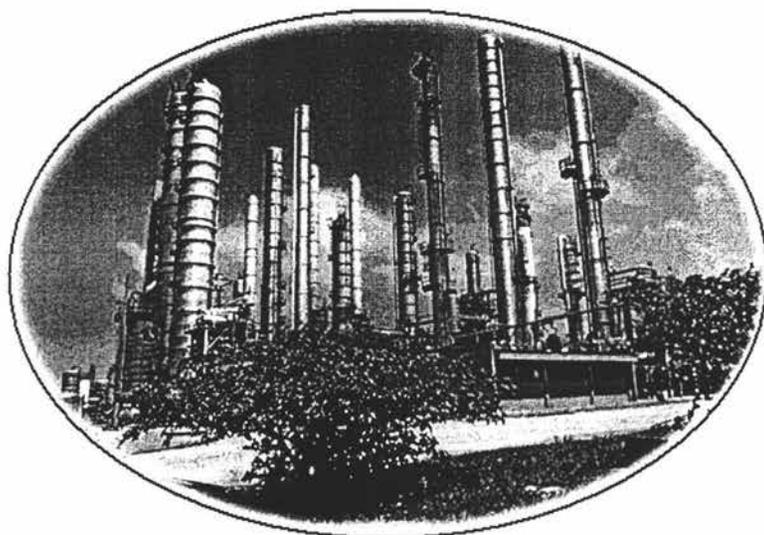
El suministro de gas combustible al calentador se efectúa a control de presión de la alimentación a quemadores con PIC-4011, que acciona la automática PCV-4011 en cascada con el control de temperatura TRC-4024 colocado en el cabezal de salida del calentador. Se tiene el corte de switch de corte por baja presión PSL-4012, colocado en el cabezal de alimentación a quemadores, que acciona la solenoide SV-4012 para disparar la válvula de corte que evita la entrada de gas a quemadores después de una situación de baja presión que los hubiese apagado.

En el sistema de pilotos, la alimentación de gas se efectúa con la automática autorregulable PCV-4003; el switch de corte por baja presión PSL-4013 y la válvula de corte la SV-4013. Existe finalmente, el botón de pánico BS-4003 colocado en el tablero principal, que apaga totalmente el calentador cuando se considere necesario. El gas combustible consumido por el calentador se cuantifica por FR-4038.

<i>SERVICIO</i>	<i>MÍNIMA</i>	<i>NORMAL</i>	<i>MÁXIMA</i>
A Quemadores (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.40	1.0	1.75
A Pilotos (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.15	0.40	0.60

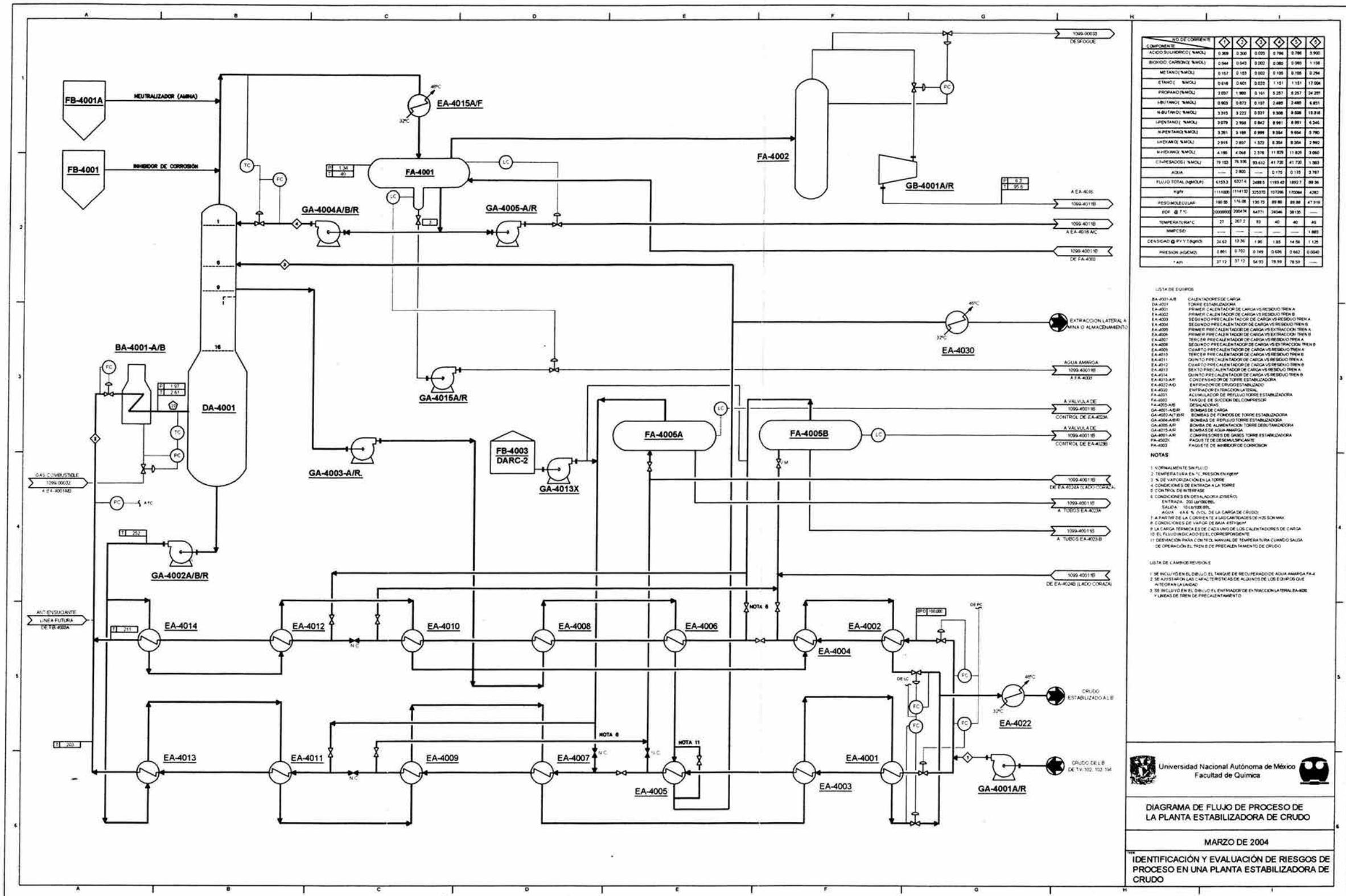
Las alarmas por baja presión de gas combustible, PAL-4011 para quemadores y PAL-4013 para pilotos están calibradas para actuar antes que el switch de disparo correspondiente, a fin de que puedan tomarse algunas medidas que eviten llegar a la situación extrema de corte.

## APÉNDICE 1.2.



## DIAGRAMAS

- Diagramas de flujo de proceso;
- Diagramas de análisis de árbol de fallas;
- Diagrama de análisis de consecuencias.



COMPONENTE	1	2	3	4	5	6
ACIDO SULFURICO (MMOL)	0.368	0.368	0.020	0.196	0.196	0.900
BORATO CARBONICO (MMOL)	0.044	0.043	0.007	0.080	0.080	1.138
METANO (MMOL)	0.151	0.153	0.007	0.105	0.105	0.294
ETANO (MMOL)	0.418	0.401	0.023	1.151	1.151	17.004
PROPANO (MMOL)	2.027	1.860	0.161	5.257	5.257	24.297
ISOBUTANO (MMOL)	0.903	0.872	0.137	2.485	2.485	6.811
N-BUTANO (MMOL)	3.315	3.222	0.097	9.308	9.308	19.318
ISOPENTANO (MMOL)	3.078	3.008	0.062	8.991	8.991	6.246
N-PENTANO (MMOL)	3.261	3.188	0.099	9.254	9.254	5.790
HEXANO (MMOL)	3.314	3.267	1.322	8.264	8.264	2.962
HEPTANO (MMOL)	4.186	4.046	0.376	11.878	11.878	3.960
OKTANO (MMOL)	79.102	76.738	93.612	41.728	41.728	1.383
AGUA	---	2.800	---	0.175	0.175	3.787
FLUJO TOTAL (MMOL)	61523	62714	24885	118340	118917	99.36
kg/h	111028	114130	32570	10726	11004	4262
RESO MOLECULAR	180.90	176.08	130.73	89.88	89.88	47.919
ROP @ 1°C	3000000	300474	6471	2406	38130	---
TEMPERATURA °C	27	207.2	83	40	40	40
MMPCSD	---	---	---	---	---	1.885
DESIG @ P.Y. T. (kg/h)	34.62	12.36	1.90	1.85	14.36	1.125
PRECISION ASUMIDA	0.981	0.702	0.749	0.626	0.642	0.040
FA-001	27.12	37.12	54.93	16.39	16.39	---

- LISTA DE EQUIPOS
- EA-4001-A/B CALENTADORES DE CARGA
  - DA-4001 TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4001 PRIMER CALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN A
  - EA-4002 PRIMER CALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN B
  - EA-4003 SEGUNDO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN A
  - EA-4004 SEGUNDO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN B
  - EA-4005 PRIMER PRECALENTADOR DE CARGA VS EXTRACCION TREN A
  - EA-4006 PRIMER PRECALENTADOR DE CARGA VS EXTRACCION TREN B
  - EA-4007 TERCER PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN A
  - EA-4008 SEGUNDO PRECALENTADOR DE CARGA VS EXTRACCION TREN B
  - EA-4009 CUARTO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN A
  - EA-4010 TERCER PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN B
  - EA-4011 QUINTO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN A
  - EA-4012 CUARTO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN B
  - EA-4013 SEXTO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN A
  - EA-4014 QUINTO PRECALENTADOR DE CARGA VS RESERVO TREN B
  - EA-4015-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4016-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4017-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4018-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4019-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4020-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4021-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4022-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4023-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4024-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4025-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4026-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4027-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4028-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4029-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4030-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4031-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4032-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4033-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4034-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4035-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4036-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4037-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4038-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4039-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4040-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4041-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4042-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4043-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4044-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4045-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4046-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4047-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4048-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4049-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4050-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4051-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4052-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4053-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4054-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4055-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4056-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4057-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4058-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4059-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4060-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4061-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4062-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4063-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4064-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4065-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4066-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4067-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4068-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4069-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4070-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4071-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4072-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4073-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4074-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4075-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4076-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4077-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4078-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4079-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4080-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4081-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4082-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4083-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4084-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4085-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4086-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4087-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4088-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4089-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4090-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4091-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4092-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4093-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4094-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4095-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4096-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4097-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4098-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4099-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA
  - EA-4100-A/B ENFRIADOR DE TORRE ESTABILIZADORA

- NOTAS
1. NORMALMENTE SIN FLUJO
  2. TEMPERATURA EN °C, RESERVO EN °F
  3. N DE VARIACION EN LA TORRE
  4. CONDICIONES DE ENTRADA A LA TORRE
  5. CONTROL DE INTERFAZ
  6. CONDICIONES EN DESALADORA (DESALO)
  - ENTRADA: 200 LPM/HR
  - SAIDA: 10 LPM/HR
  - AGUA: 4 A 6 % VOL. DE LA CARGA DE CRUDO
  7. A PARTIR DE LA CORRIENTE 4 LAS CARGAS DE CARGA SON MAN
  8. CONDICIONES DE VAPOR DE SALA 4 5 7 8 9 10
  9. LA CARGA TERMICA ES DE CADA UNO DE LOS CALENTADORES DE CARGA
  10. EL FLUJO INDICADO ES EL CORRESPONDIENTE
  11. DESVIACION PARA CONTROL MANUAL DE TEMPERATURA CUANDO SALGA DE OPERACION EL TREN B DE PRECALENTAMIENTO DE CRUDO

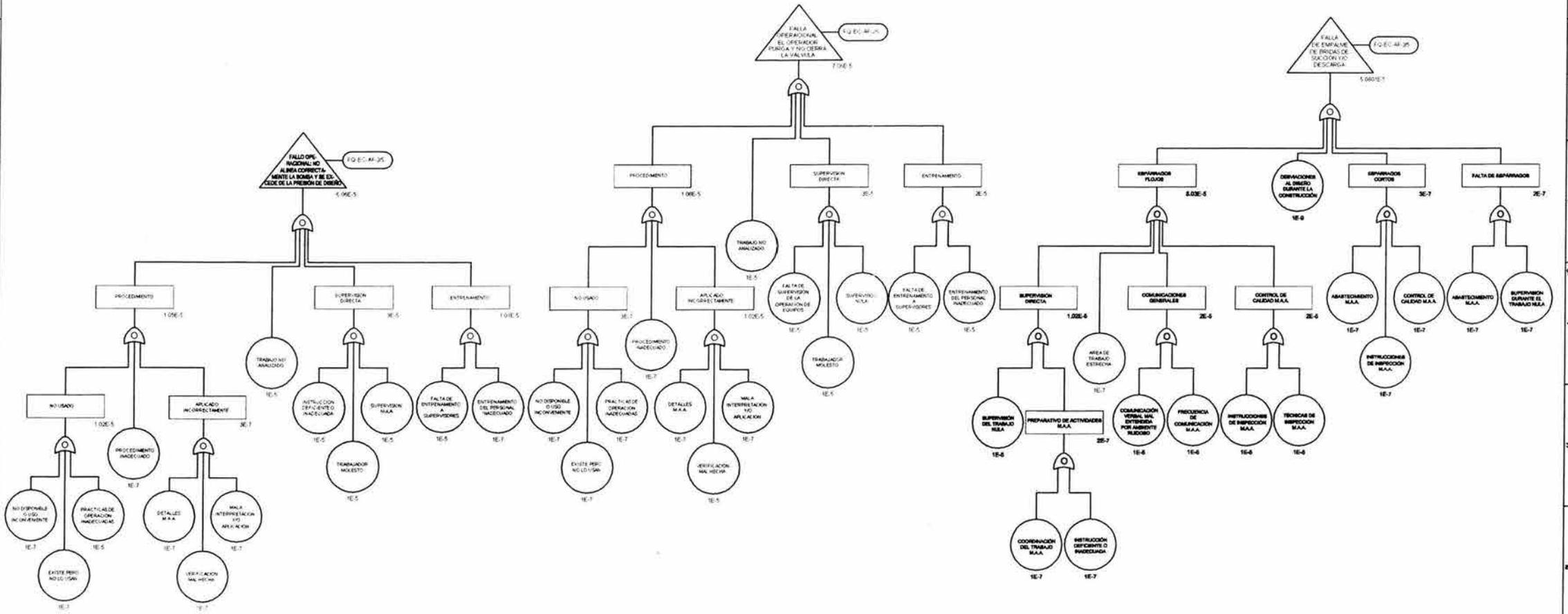
- LISTA DE CAMBIOS REVISIONES
1. SE INCLUYEN EN EL DIBUJO EL TANQUE DE RECUPERACION DE AGUA AMARGA P-4
  2. SE ADJUSTAN LAS C/MAC/TESTRICAS DE ALGUNOS DE LOS EQUIPOS QUE INTEGRAN LA UNIDAD
  3. SE INCLUYEN EN EL DIBUJO EL ENFRIADOR DE EXTRACCION LATERAL EA-4001 Y LINEAS DE TREN DE PRECALENTAMIENTO







TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO OCLASIFICADO	PROBLEMA	FRECUENCIA
Incidente por falta de la bomba de carga de la planta de MAA	3.30004040-7	Investado por el departamento de mantenimiento el 10/03/76

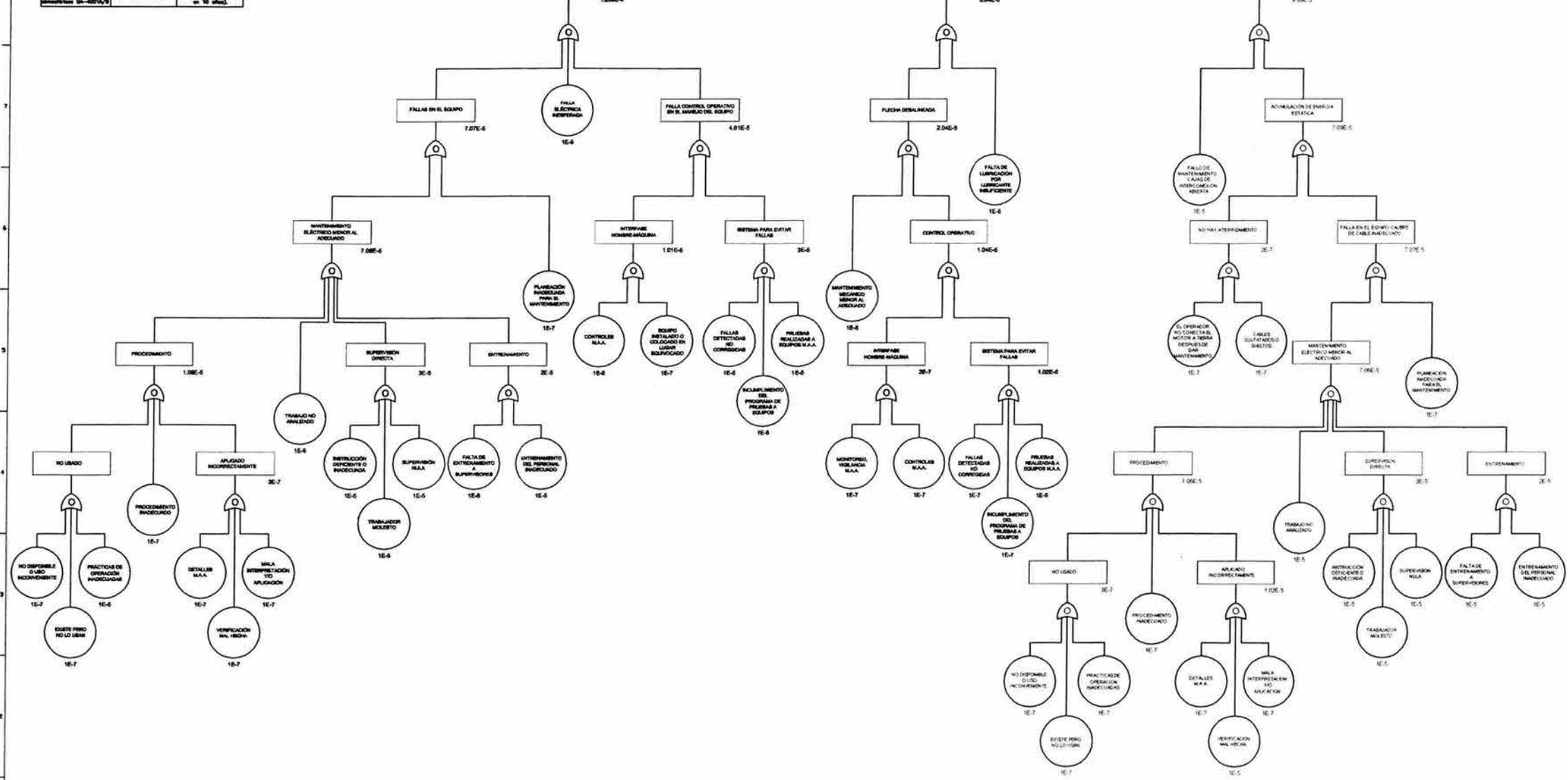
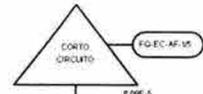


M.A.A. : menor o adecuado  
M.P.P. : mantenimiento preventivo/predictivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO		FACULTAD DE QUÍMICA, CIEN. E. LAB. DE I.	
TÍTULO DEL DIAGRAMA DE ÁRBOLES DE FALLAS	INCIDENTO DE LA BOMBA DE CARGA	GA-40018/76	
FECHA DE ELABORACIÓN	10/03/76		
ELABORADO POR	FR-EC-AF-3/3		
REVISADO POR			
APROBADO POR			
REVISADO POR			
ELABORADO POR			



TALA DE RESULTOS		
TIPO DE FALLA	PROBLEMA	PREVENCIÓN
Identificada por el personal de Mantenimiento Preventivo	3.2000044E-7	Identificada por el personal de Mantenimiento Preventivo



M.A.A.: menor al adecuado  
M.P.P.: mantenimiento preventivo/predictivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	
FACULTAD DE QUÍMICA ORGÁNICA Y LABORATORIO	
ALUMNO: _____	TÍTULO: _____
GRUPO: _____	DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS
FECHA: _____	INCIDENTO DE LA BOMBA DE CARGA
FECHA: _____	CA-40018/R
FECHA: _____	PROYECTO: _____
FECHA: _____	F0-EC-AF-5/5
FECHA: _____	DE CARGA A LA PLANTA
FECHA: _____	FECHA: _____



CHAPARRAL 33  
 RUPTURA CATASTRÓFICA EN EL ACUMULADOR FA-4004  
 CANTONAMIENTO DE LA PLANTA

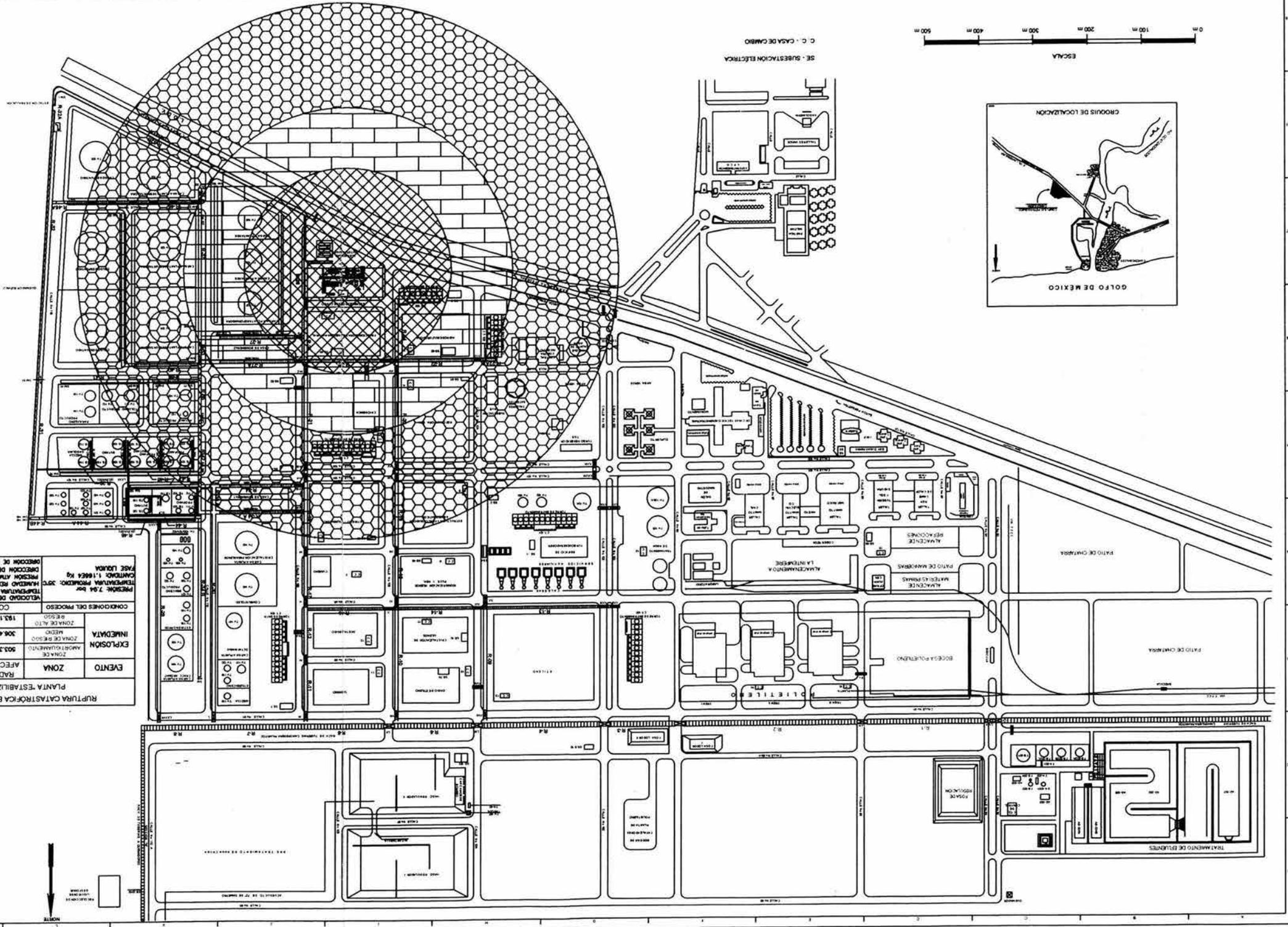


SE - SUBESTACION ELECTRICA  
C - CASA DE CAMBIO

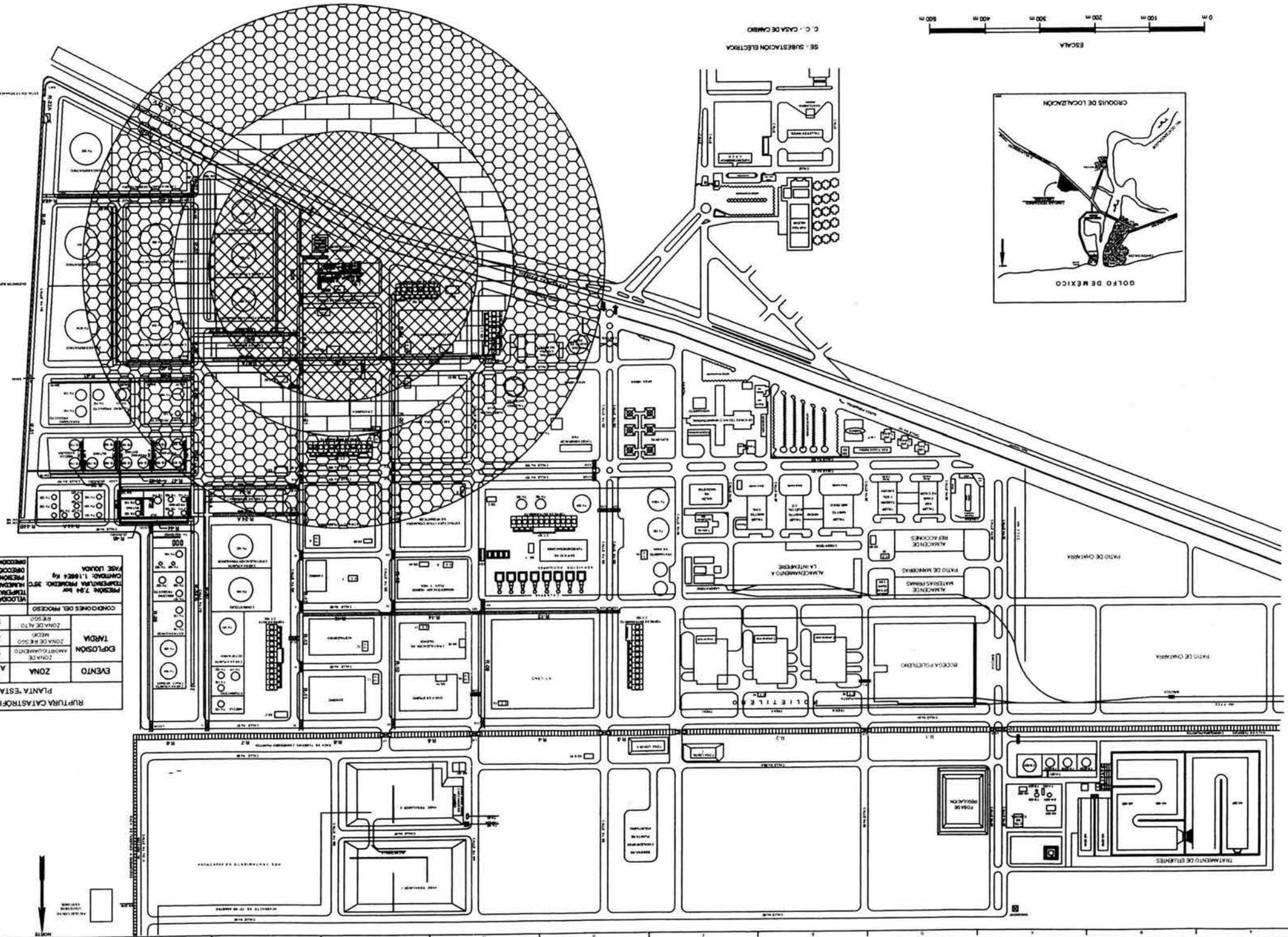
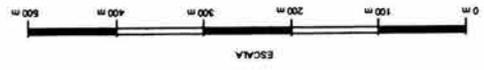
RUPTURA CATASTRÓFICA EN EL ACUMULADOR FA-4004  
PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDOS

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS	
VELOCIDAD DEL VIENTO: 2.77 m/s	TEMPERATURA PROMEDIO: 25.7°C
PRECIPITACION PROMEDIO: 1.18 m/a	HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO: 95%
DIRECCION DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NORTE A SUR	
DIRECCION DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NOROESTE A SURESTE	
FASE LÍQUIDA	
CANTIDAD: 116624 Kg	
PESON: 7.94 bar	
TEMPERATURA PROMEDIO: 20°C	
MATERIAL: ALUMINIO, FIBRA	
TEMPERATURA PROMEDIO: 25.7°C	
VELOCIDAD DEL VIENTO: 2.77 m/s	
PRECIPITACION PROMEDIO: 1.18 m/a	
DIRECCION DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NORTE A SUR	
DIRECCION DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NOROESTE A SURESTE	

ZONA	
RADIO DE ONDAS DE AFECTACION SOBREPRESION	0.5 PSI
AMORTIGUAMIENTO	503.365 m
ZONA DE ALTO	193.136 m
ZONA DE MEDIO	306.447 m
ZONA DE BAJO	1.0 PSI
EXPLOSION	2.0 PSI



RUP TUA CATASTRICA EN EL ACUAFUOR FA-404  
 C. C. - CASA DE CAMBIO  
 SE - SUBESTACION ELECTRICA



RUP TUA CATASTRICA EN EL ACUAFUOR FA-404  
 PLANTA ESTABILIZADORA DE CRUDO

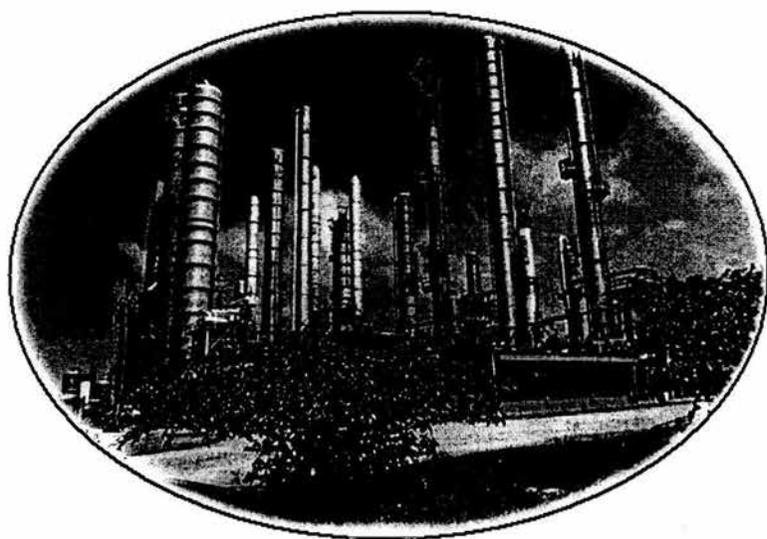
EVENTO	ZONA DE AFECCION SOBRESERION	RADIO DE ONDAS DE
EXPLOSION	ZONA DE AMORTIGUAMIENTO	477.194 m
TARDA	ZONA DE RESERVO	310.287 m
	ZONA DE ALTO	248.957 m

CONDICIONES CLIMATOLÓGICAS

VELOCIDAD DEL VIENTO: 2.77 m/s  
 TEMPERATURA AMBIENTAL: 25.5°C  
 HUMEDAD RELATIVA PROMEDIO: 55%  
 PRESSION: 734 mm Hg  
 TEMPERATURA PROMEDIO: 30°C  
 HALLAZGO: 118624 kg  
 PRESSION AMOSTRABLE: 1470

DIRECCION DE LOS VIENTOS DOMINANTES: NORTE A SUR  
 FASE LIQUIDA

## **APÉNDICE 1.3.**



## **HOJAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD**



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: De carga

Fecha:

Nodo: 1. Recibo de carga del límite de batería, bombas GA-4001A/B/R, controladores de flujo FIC-4002 y FIC-4003 hasta entrada a los trenes de precalentamiento (EA-4001 al EA-4014).

Diagramas: 1099-00021A y 1099-00021C.

Producto: Crudo 100 % maya.

Desviación: 3. Presencia de agua en la carga

LOI: No aplica

LOS: No aplica

LSI: No aplica

LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
9 1. Recibo de crudo de carga con exceso de agua.	<p>1. Cavitación de bombas.</p> <p>2. Descontrol en las condiciones de proceso:</p> <p>A) Bajo flujo de carga.</p> <p>B) Variación en las temperaturas en el tren de precalentamiento.</p> <p>C) Variación en la presión del cabezal de carga a los calentadores BA-4001A/B.</p> <p>D) El PRC-4001 provoca oscilaciones de alta frecuencia en los FRC-4011 al FRC-4018 y del FRC-4020 a FRC-4027.</p> <p>E) Variación de flujo a los calentadores BA-4001A/B.</p> <p>F) Presionamiento y depresionamiento de la torre DA-4001.</p> <p>G) Contaminación con agua del producto (gasolina).</p> <p>H) Productos fuera de especificación.</p>	<p>1. Purgado y drenado manual de los tanques de carga.</p> <p>2. Programa de mantenimiento a tanques de carga.</p>	<p>1. Mantener en buenas condiciones el sistema de drenado de los tanques de crudo (bomba GA-188 A/B en condiciones operables e instalación de bomba auxiliar).</p> <p>2. Instalación de filtro en el cárcamo de las bombas GA-188 A/B.</p> <p>3. Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automático de drenado por interfase (AGAR).</p> <p>4. Instalación de motores nuevos y capacidad correcta en las bombas GA-188 A/B para trabajar a la intemperie.</p> <p>5. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.</p>	1 (1)	3 (3)	4 (4)	B



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: De carga

Fecha:

Nodo: 1. Recibo de carga del limite de batería, bombas GA-4001A/B/R, controladores de flujo FIC-4002 y FIC-4003 hasta entrada a los trenes de precalentamiento (EA-4001 al EA-4014).

Diagramas: 1099-00021A y 1099-00021C.

Producto: Crudo 100 % maya.

Desviación: 6. Mayor densidad en el crudo de carga

LOI: 37 °API

LOS: 30 °API

LSI: No determina LSS: No determin

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
20 1.Cambio en condiciones de operación (crudo Maya 100%)	<p>1. Disminuye la eficiencia del motor de las bombas GA-4001B/R por incremento de amperaje.</p> <p>2. Incremento en el consumo de energía eléctrica.</p> <p>3. Disminución en la vida media del motor de las bombas GA-4001B/R.</p> <p>4. Daño excesivo a rodamientos de las bombas GA-4001B/R.</p> <p>5. Fuga por sellos.</p> <p>6. Posible incendio ocasionado por la fuga.</p>	<p>1. Bomba de relevo GA-4001AT.</p> <p>2. Programa de mantenimiento a bombas.</p>	<p>1. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.</p> <p>2. Contar con inventarios de refaccionamiento en calidad, cantidad y a tiempo.</p>	1 (1)	2 (3)	3 (4)	B



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Tren de precalentamiento

Fecha:

**Nodo:** 2. Cuarto precalentador de carga contra residuo del tren A (EA-4009), desde la línea directa por el área de tubos hasta la válvula que va al cabezal hacia la desaladora (por el lado de tubos), incluyendo la válvula directa hacia el EA-4011, y desde el inicio hasta el final de la línea directa (por el lado de coraza).

**Diagramas:** 1099-00021B

**Producto:** Crudo fresco maya (lado de tubos) y crudo estabilizado (lado coraza).

**Desviación:** 1. Alta presión en el intercambiador **LOI:** 16.5 kg/cm2 **LOS:** 23.445 kg/cm **LSI:** 15.63 kg/cm2 **LSS:** 30 kg/cm2

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
21	1. Falla en el PRC-4001 por: A) Entrada de agua a la toma del transmisor; B) Taponamiento con crudo en toma de proceso del transmisor.	1. Cierre de válvulas de los serpentines de los calentadores BA-4001 A/B. 2. Carbonización e incrustación de sales y residuos en serpentines. 3. Puntos calientes en los serpentines. 4. Posible ruptura de serpentines. 5. Incumplimiento con el programa de entrega de productos. 6. Derrame por juntas en el intercambiador. 7. Posible incendio. 8. Plantas fuera de operación (HDS y Estabilizadora).	1. Abertura mínima de válvulas 20%. 2. Operación manual de válvulas de serpentines de calentadores. 3. Líneas directas. 4. Procedimiento operativo. 5. Válvula de seguridad PSV-109. 6. Indicadores de presión a la entrada y salida de los intercambiadores. 7. Tratamiento químico (antiensuciante). 8. Indicador de temperatura TI-4025. 9. Alarma de alta presión en el cabezal PAH-4001 (calibrada a 14 y 14.5 kg/cm2). 10. Programa de mantenimiento al PRC-4001.	1. Modernizar la señal del transmisor en el PRC-4001. 2. Asegurar la disponibilidad de sustancias para aplicación de tratamientos químicos. 3. Realizar estudio costo-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad (PSV's) de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación, para que en caso de que releven no se presione el sistema (tengan la capacidad adecuada).	1 (1)	2 (4)	3 (6)	C
22	2. Falla de la válvula a la salida de cualquiera de los	1. Cierre de válvulas de los serpentines de los	1. Procedimiento operativo.	1. Realizar estudio costo-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad	2 (3)	3 (3)	6 (7)	D



**Planta:** Estabilizadora de crudo

**Circuito:** Tren de precalentamiento

**Fecha:**

**Nodo:** 2. Cuarto precalentador de carga contra residuo del tren A (EA-4009), desde la línea directa por el área de tubos hasta la válvula que va al cabezal hacia la desaladora (por el lado de tubos), incluyendo la válvula directa hacia el EA-4011, y desde el inicio hasta el final de la línea directa (por el lado de coraza).

**Diagramas:** 1099-00021B

**Producto:** Crudo fresco maya (lado de tubos) y crudo estabilizado (lado coraza).

**Desviación:** 1. Alta presión en el intercambiador **LOI:** 16.5 kg/cm<sup>2</sup> **LOS:** 23.445 kg/cm **LSI:** 15.63 kg/cm<sup>2</sup> **LSS:** 30 kg/cm<sup>2</sup>

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
intercambiadores (EA-4009 y EA-4010) en posición de cerrado: A) Por galleta caída; B) Por error humano; C) Junta ciega no retirada.	1. calentadores BA-4001A/B. 2. Carbonización en los serpentines. 3. Producto fuera de especificación. 4. Incumplimiento con el programa de entrega de productos. 5. Derrame por juntas en el intercambiador. 6. Ruptura de tubos. 7. Posible incendio.	2. Pasar a modo manual las válvulas de los serpentines de los calentadores. 3. Línea directa para las válvulas automáticas de los serpentines. 4. Válvula de seguridad PSV-109. 5. Indicadores de presión a la entrada y salida de los intercambiadores. 6. Indicador de temperatura TI-4025. 7. Alarma de alta presión en el cabezal PAH-4001 (calibrada a 14 y 14.5 kg/cm <sup>2</sup> ).	(PSV's) de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación, para que en caso de que releven no se presione el sistema (tengan la capacidad adecuada). 2. Difusión y capacitación de procedimientos operativos al personal de nuevo ingreso.				
23 3.Exceso de agua en el crudo de carga.	1. Oscilación en la apertura de las válvulas de los serpentines de los calentadores BA-4001A/B. 2. Carbonización en los serpentines. 3. Producto fuera de especificación.	1. Aplicación de procedimiento operativo. 2. Pasar a modo manual las válvulas de los serpentines de los calentadores BA-4001A/B. 3. Drenar tanques de crudo de carga TV-102, TV-103 y TV-104.	1. Realizar estudio costo-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad (PSV's) de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación, para que en caso de que releven no se presione el sistema (tengan la capacidad adecuada). 2. Realizar estudio para instalar sistema automático de drenado por	1 (1)	3 (4)	4 (6)	C



**Planta:** Estabilizadora de crudo

**Circuito:** Tren de precalentamiento

**Fecha:**

**Nodo:** 2. Cuarto precalentador de carga contra residuo del tren A (EA-4009), desde la línea directa por el área de tubos hasta la válvula que va al cabezal hacia la desaladora (por el lado de tubos), incluyendo la válvula directa hacia el EA-4011, y desde el inicio hasta el final de la línea directa (por el lado de coraza).

**Diagramas:** 1099-00021B

**Producto:** Crudo fresco maya (lado de tubos) y crudo estabilizado (lado coraza).

**Desviación:** 1. Alta presión en el intercambiador      LOI: 16.5 kg/cm2      LOS: 23.445 kg/cm      LSI: 15.63 kg/cm2      LSS: 30 kg/cm2

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
	4. Incumplimiento con el programa de entrega de productos.	4. Válvula de seguridad PSV-109.  5. Indicadores de presión a la entrada y salida de los intercambiadores.  6. Tratamiento químico desemulsionante.	interfase (AGAR).					
24	4.Exceso de sal en el crudo de carga.	1. Taponamientos generalizados, principalmente en las FV-4011 a FV-4020 de los BA-4001A/B.  2. Carbonización en los serpentines.  3. Exceso de costos por mantenimiento.  4. Riesgos adicionales debido al exceso de mantenimiento (incendio, daño a las instalaciones, accidentes del personal).	NO HAY PROTECCIONES.	1. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.  2. Reactivar e instrumentar el sistema de pretratamiento automatizado de crudo de carga.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	B



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: De desalado

Fecha:

Nodo: 3. Desaladora FA-4005A desde las válvulas mezcladoras (PDV-4005A-A/B) hasta la salida de crudo desalado al EA-4011, incluyendo cabezal de desfogue y transformadores TR-1, TR-2 y TR-3.

Diagramas: 1009-00021C

Producto: Crudo tipo maya, desemulsificante y agua para desalado.

Desviación: 4. Baja presión en desaladora		LOI: 13 kg/cm <sup>2</sup>	LOS: 14.5 kg/cm <sup>2</sup>	LSI: 9 kg/cm <sup>2</sup>	LSS: 22 kg/cm <sup>2</sup>			
Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
38	1. Paro de alguna de las bombas de carga GA-4001 A/B/R.	1. Vaporización de ligeros en la desaladora.  2. Oscilaciones en las válvulas de control de los serpentines de los calentadores BA-4001A/B.  3. Producto fuera de especificación.  4. Incumplimiento con el programa de entrega de productos.	1. Procedimiento operativo.  2. Bomba de relevo.  3. Operación manual de válvulas.  4. Indicador y registrador de presión PI-4057A.	1. Verificar el cumplimiento de programas de mantenimiento a bombas.  2. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.  3. Instalación de alarma por baja presión en la descarga de las bombas GA-4001A/B/R.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	C
39	2. Compuerta caída en la válvula de entrada de desaladora FA-4005A.	1. No flujo a desaladora FA-4005A.  2. No flujo a los intercambiadores EA-4011 y EA-4013.  3. Bajo flujo a calentadores BA-4001A/B.  4. Carbonización en los serpentines.  5. Derrame por juntas de los intercambiadores EA-4001, EA-4003, EA-4009.  6. Derrame por sellos en las bombas de carga GA-	1. Indicadores de baja presión PR-4057A.  2. Indicadores de presión.  3. Disparo del arrancador de GA-4001B/R por sobrecarga.  4. Válvulas de seguridad del tren de precalentamiento PSV-101, PSV-105, PSV-107 y PSV-109.  5. Alarma de bajo flujo FAL-4001.  6. Línea directa entre intercambiadores EA-4009 Y 4011.	1. Mantenimiento a válvulas en el programa de reparaciones.  2. Sustitución de válvulas dañadas.  3. Realizar estudiocosto-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad (PSV's) de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación, para que en caso de que releven no se presione el sistema (tengan la capacidad adecuada).	3 (4)	2 (4)	6 (10 )	D



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: De desalado

Fecha:

Nodo: 3. Desaladora FA-4005A desde las válvulas mezcladoras (PDV-4005A-A/B) hasta la salida de crudo desalado al EA-4011, incluyendo cabezal de desfogue y transformadores TR-1, TR-2 y TR-3.

Diagramas: 1009-00021C

Producto: Crudo tipo maya, desemulsificante y agua para desalado.

Desviación: 4. Baja presión en desaladora LOI: 13 kg/cm2 LOS: 14.5 kg/cm2 LSI: 9 kg/cm2 LSS: 22 kg/cm2

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
	4001A/B/R. 7. Paro automático de bombas GA-4001B/R. 8. Posible incendio ocasionado por el derrame. 9. Incumplimiento con el programa de entrega de productos. 10. Paro de plantas (HDS y Estabilizadora).	7. Ajuste automático en cascada, del TRC-4011 con los PIC-4003 y PIC-4006, de flujo de gas combustible a calentadores BA-4001A/B.						
40	3.Falla de las bombas de carga GA-4001A/B/R por presencia de gas ("engasamiento").	1. Bajo flujo de crudo de carga a la desaladora. 2. Calentamiento de bomba. 3. Vaporización de ligeros dentro de la desaladora. 4. Oscilaciones en las válvulas de control de los serpentines de los calentadores. 5. Producto fuera de especificación. 6. Incumplimiento con el programa de entrega de productos.	1. Bomba de relevo. 2. Procedimiento operativo. 3. Operación manual de válvulas. 4. Indicador y registrador de presión PI-4057A. 5. Alarma de bajo flujo FAL-4001.	1. Difusión de los procedimientos operativos y capacitación continua al personal de operación. 2. Continual con mantenimiento a válvulas de purga. 3. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.	2 (3)	2 (4)	4 (9)	D



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: De desalado

Fecha:

Nodo: 3. Desaladora FA-4005A desde las válvulas mezcladoras (PDV-4005A-A/B) hasta la salida de crudo desalado al EA-4011, incluyendo cabezal de desfogue y transformadores TR-1, TR-2 y TR-3.

Diagramas: 1009-00021C

Producto: Crudo tipo maya, desemulsificante y agua para desalado.

Desviación: 4. Baja presión en desaladora

LOI: 13 kg/cm2

LOS: 14.5 kg/cm2

LSI: 9 kg/cm2

LSS: 22 kg/cm2

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
-------	---------------	--------------	-----------------	---	---	---	-------

7. Plantas fuera de operación (HDS y Estabilizadora).

41 4. Falla de aire de instrumentos en válvulas automáticas FV-4002 y/o 4003.

1. Sin flujo a desaladora FA-4005A.

1. Línea directa.

1. Difusión de los procedimientos operativos y capacitación continua al personal.

3 2 6  
(3) (4) (9)

D

2. Sin flujo a los intercambiadores EA-4011 y EA-4013.

2. Procedimientos operativos.

2. Realizar barrido con aire a las líneas de alimentación de la instrumentación de la planta en programa de reparación.

3. Bajo flujo a los calentadores BA-4001A/B.

3. Alarma por bajo flujo FAL-4001.

4. Carbonización en los serpentines.

5. Fuga por sellos en las bombas de carga GA-4001A/B/R.

6. Paro automático de bombas GA-4001B/R.

7. Posible incendio ocasionado por la fuga.

8. Incumplimiento con el programa de entrega de productos.

9. Paro de plantas (HDS y Estabilizadora).



Planta: Estabilizadora

Circuito: De calentamiento de crudo de carga.  
Entra crudo desalado a 180 °C y sale a 254°C. Se calienta a fuego directo con gas combustible.

Fecha:

Nodo: 5. Calentador BA-4001A

Diagramas: 1099-00022A

Producto: Crudo desalado, gas combustible, aire de planta (8 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de alta (45 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de media (19 kg/cm<sup>2</sup>) y vapor de baja (4 kg/cm<sup>2</sup>).

Desviación: 3. Sin flujo en serpentines.      LOI: No aplica      LOS: No aplica      LSI: No aplica      LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
70	1.No flujo de crudo de carga debido a: A) Falla de bombas; B) Compuerta caída; C) Taponamiento en los intercambiadores de calor; D) Fallo en posición cerrada de una válvula automática.	1. Carbonización e incrustación de sales y residuos en serpentines. 2. Taponamiento de serpentines. 3. Puntos calientes en los serpentines. 4. Posible ruptura. 5. Posible incendio. 6. Plantas fuera de operación (HDS y Estabilizadora).	1. Alarma por bajo flujo. 2. Interlock de los quemadores BS-4001A/B. 3. Procedimiento operativo. 4. Indicadores de presión a la entrada y salida de los intercambiadores. 5. Bombas de relevo. 6. Línea directa de válvulas e intercambiadores.	1. Mantener disponible bomba de relevo. 2. Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y a tiempo especialmente de equipos críticos.	2 (3)	2 (4)	4 (9)	D
71	2.Deposito de sales y residuos en serpentín por baja eficiencia de desalado y mayor contenido de sal y pesados en el crudo de carga (fuera de especificaciones de diseño de la planta).	1. Carbonización e incrustación de sales y residuos en serpentines. 2. Taponamiento de serpentines. 3. Puntos calientes en los serpentines. 4. Posible ruptura. 5. Posible incendio.	1. Tratamiento químico. 2. Vapor de alta presión inyectado a través de las válvulas FV-4011 a FV-4018. 3. Cortina de vapor del calentador.	1. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado. 2. Estudio costo-beneficio para instalación de purgado automático y remoción de lodos en tanques de almacenamiento (carga a planta). 3. Elaborar procedimiento de remoción de lodos, para la cantidad de lodos que se genera actualmente. 4. Elaborar estudio para hacer más	1 (2)	2 (2)	3 (4)	B



Planta: Estabilizadora

Circuito: De calentamiento de crudo de carga.  
Entra crudo desalado a 180 °C y sale a 254°C. Se calienta a fuego directo con gas combustible.

Fecha:

Nodo: 5. Calentador BA-4001A

Diagramas: 1099-00022A

Producto: Crudo desalado, gas combustible, aire de planta (8 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de alta (45 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de media (19 kg/cm<sup>2</sup>) y vapor de baja (4 kg/cm<sup>2</sup>).

Desviación: 3. Sin flujo en serpentines.

LOI: No aplica

LOS: No aplica

LSI: No aplica

LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	6. Plantas fuera de operación (HDS y Estabilizadora).		eficiente la remoción de lodos sin afectar el desalado de crudo.				
72	3. Carbonización interna por flama distorsionada debido a:						
A) Quemadores desnivelados;	1. Carbonización e incrustación de sales y residuos en serpentines.	1. Monitoreo continuo de quemadores.	1. Contar con refaccionamiento de quemadores (equipo crítico) en calidad, cantidad y a tiempo .	1	2	3	D
B) Desgaste o taponamiento de espreas de la corona;	2. Taponamiento de serpentines.	2. Alarmas por alta temperatura TAH-4005 a TAH-4012.	2. Verificar que se cuente con herramientas adecuadas para dar mantenimiento a quemadores.	(2)	(4)	(7)	
C) Difusor dañado o mal ajustado;	3. Puntos calientes en los serpentines.	3. Programa de mantenimiento.	3. Modernizar la mampara, sustituir el sistema de tirantes por un sistema de engranes manejado por motor con señal del AR-4003 y el vacuómetro PI-4001.				
D) Suministro de aire inadecuado a quemadores (relación aire-combustible incorrecta).	4. Posible ruptura.						
E) Mampara de control de tiro del calentador mal ajustada.	5. Posible incendio.						
	6. Plantas fuera de operación (HDS y Estabilizadora).						



Planta: Estabilizadora

Circuito: De calentamiento de crudo de carga.  
Entra crudo desalado a 180 °C y sale a  
254°C. Se calienta a fuego directo con  
gas combustible.

Fecha:

Nodo: 5. Calentador BA-4001A

Diagramas: 1099-00022A

Producto: Crudo desalado, gas combustible, aire de  
planta (8 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de alta (45 kg/cm<sup>2</sup>),  
vapor de media (19 kg/cm<sup>2</sup>) y vapor de baja (4  
kg/cm<sup>2</sup>).

Desviación: 4. Derrame de crudo por un serpentín		LOI: No aplica	LOS: No aplica	LSI: No aplica	LSS: No aplica		
Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
73 1.Falla del material debido a: A) calentamiento, B) ataque corrosivo, C) material de tubos y soldadura fuera de especificación de acuerdo a condiciones de operación, D) soldadura mal aplicada.	1. Incendio en el calentador.	1. Aplicación de vapor a los serpentines. 2. Procedimientos de inspección y calibración. 3. Verificación del relevado de esfuerzos con prueba de dureza. 4. Análisis de materiales. 5. Verificación de calidad de soldaduras, pruebas hidrostáticas.	1. Utilizar materiales de acuerdo a especificación y realizar estudio costo-beneficio para evaluar el material adecuado de serpentines del calentador para el manejo de crudo maya. 2. Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y tiempo. 3. Estudio costo-beneficio para aplicación de tratamiento químico para evitar incrustación en serpentines de calentadores. 4. Soldadores calificados.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	B



**Planta:** Estabilizadora

**Circuito:** De calentamiento de crudo de carga.  
Entra crudo desalado a 180 °C y sale a 254°C. Se calienta a fuego directo con gas combustible.

**Fecha:**

**Nodo:** 5. Calentador BA-4001A

**Diagramas:** 1099-00022A

**Producto:** Crudo desalado, gas combustible, aire de planta (8 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de alta (45 kg/cm<sup>2</sup>), vapor de media (19 kg/cm<sup>2</sup>) y vapor de baja (4 kg/cm<sup>2</sup>).

**Desviación:** 5. Sin salida de gases de combustión en el calentador.    **LOI:** No aplica    **LOS:** No aplica    **LSI:** No aplica    **LSS:** No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
74 1.Mampara cerrada por tirante roto.	1. Mala combustión. 2. Contaminación con NOx. 3. Presionamiento del calentador. 4. Variación en la flama, y se apagan los quemadores. 5. Vibración en el calentador. 6. Fuga de gas combustible. 7. Riesgo de quemaduras al personal por salida de flamas por la parte inferior del calentador. 8. Posible explosión. 9. Producto fuera de especificación.	1. Procedimiento operativo de paro del calentador. 2. Inspección del tirante durante la reparación.	1. Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automatizado para control de la mampara en la chimenea de los calentadores a fuego directo basado en la señal del analizador de oxígeno AR. 2. Sustituir tomas del vacuómetro del calentador BA-4001A. 3. Eliminar corrientes parásitas (de aire) para asegurar el buen funcionamiento del analizador de oxígeno AR-4003.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	B



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 4. Alta temperatura en el fondo de DA-4001

LOI: 245 °C

LOS: 260 °C

LSI: No aplica

LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
93 1. Bajo nivel en DA-4001.	1. Producto fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos. 3. Engasamiento en las bombas GA-4002A/B/R con cavitación, fuga y posible incendio.	1. Alarma por bajo nivel LAL-4003. 2. Indicador local de nivel LG-4002. 3. Programa de mantenimiento. 4. Procedimientos operativos.	1. Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.	2 (3)	3 (3)	6 (7)	D
94 2. Incremento de poder calorífico del gas combustible.	1. Producto fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos.	1. Alarma por alta temperatura TAH-4003. 2. Alarma por alta temperatura en salida calentadores TRC-4011 y TRC-4021.	1. Mejorar comunicación interorganismos para comunicar cambios en el suministro de gas combustible. 2. Solicitar que se envíe gas combustible dentro de especificaciones.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	C
95 3. Incremento de presión de gas combustible.	1. Producto fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos.	1. Alarma por alta temperatura TAH-4003. 2. Alarma por alta temperatura en salida calentadores TRC-4011 y TRC-4021.	1. Habilitar alarma por alta presión en el cabezal de gas combustible de quemadores. 2. Habilitar control en cascada del TRC-4011 y 4021 y ajustar parámetros del controlador para adecuarlos a condiciones de operación actual.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	C
96 4. Falla de LIC-4003 mandando señal errónea a FV-4004 y FV-4005 (se abren estas válvulas).	1. Producto fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos. 3. Bajo nivel en la Torre	1. Indicadores locales de nivel, LG-4003. 2. Purgas de indicadores locales de nivel LG-4003. 3. Procedimiento operativo.	1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la Torre Estabilizadora DA-4001, antes de las bombas GA-4002A/B/R para que en caso de siniestro se pueda aislar. 2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las	1 (1)	2 (2)	3 (3)	A



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 4. Alta temperatura en el fondo de DA-4001

LOI: 245 °C

LOS: 260 °C

LSI: No aplica

LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	estabilizadora DA-4001.  4. Engasamiento en las bombas GA-4002A/B/R con cavitación, fuga y posible incendio.  5. Plantas fuera de operación (HDS y Estabilizadora).	4. Programa de mantenimiento.	válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.  3. Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.				



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 5. Mayor presión en el domo de DA-4001      LOI: 1 kg/cm<sup>2</sup>      LOS: 1.5 kg/cm<sup>2</sup>      LSI: 0 kg/cm<sup>2</sup>      LSS: 4.2 kg/cm<sup>2</sup>

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
97	1. Arrastre de agua en la alimentación a la torre DA-4001.  2. Contaminación de drenajes aceitosos.  3. Posible incendio en drenajes.	1. Aplicación de procedimiento operativo.	1. Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automático de drenado por interfase (AGAR) de tanques de carga.  2. Pretratamiento a crudo de carga para eliminar agua.  3. Mantener en buenas condiciones el sistema de drenado de los tanques de crudo (bomba GA-188A/B en condiciones operables e instalación de bomba auxiliar).  4. Instalación de motores nuevos y capacidad correcta en las bombas GA-188A/B para trabajar a intemperie.  5. Instalación de filtro en el cárcamo de las bombas GA-188A/B.  6. Rehabilitar detectores de gas y fuego.  7. Dar continuidad a la solicitud de cambio de bombas GA-4015A/R por unas de mayor capacidad (de acuerdo a las condiciones de operación actuales).	1 (1)	3 (3)	4 (4)	B
98	2. Falla en la PV-4008B en posición de cerrado por obstrucción ó tapón pegado al asiento.  1. Producto fuera de especificación.  2. Relevo de válvulas de seguridad PSV-301A/B/C.	1. Línea de directo.  2. Procedimientos operativos.  3. Indicadores locales y en control distribuido de presión	1. Estudio costo-beneficio para realizar tratamiento de gas amargo para la alimentación a sistema de compresión.	3 (4)	3 (4)	7 (10)	D



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 5. Mayor presión en el domo de DA-4001      LOI: 1 kg/cm2      LOS: 1.5 kg/cm2      LSI: 0 kg/cm2      LSS: 4.2 kg/cm2

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	3. Daños al cabezal de desfogue (corrosión con H2S).	PI-4054.					
	4. Planta fuera de operación.	4. Alarma por alta presión PAH-4054. 5. Programa de mantenimiento de PV-4008B.					
99	3. Compuerta caída en válvulas de bloqueo de EA-4015 A/F.	1. Posible ruptura de tubos en intercambiadores EA-4015A/B/C/D. 2. Planta fuera de operación.	1. Indicadores de presión PI-4054. 2. Alarma por alta presión PAH-4054. 3. Procedimientos operativos.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D
100	4. Junta ciega colocada en mantenimiento y no retirada en líneas de proceso del banco de condensadores EA-4015A/F	1. Posible ruptura de tubos en intercambiadores EA-4015A/B/C/D. 2. Planta fuera de operación.	1. Indicadores de presión PI-4054. 2. Alarma por alta presión PAH-4054. 3. Procedimientos operativos. 4. Protocolo de arranque.	3 (3)	3 (4)	7 (9)	D
101	5. Falla de agua de enfriamiento en EA-4015A/F.	1. Incremento de temperatura en el domo de la torre DA-4001. 2. Planta fuera de operación.	1. Indicadores de temperatura en intercambiadores EA-4015. 2. Indicadores de presión PI-4054. 3. Alarma por alta presión PAH-4054. 4. Procedimientos operativos.	2 (2)	3 (4)	6 (7)	D



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 8. Menor nivel en fondo de DA-4001		LOI: 50%	LOS: 65%	LSI: 40%	LSS: 90%			
Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
114	1.Falla de FV-4002 y 4003 en posición de cerrado.	1. Productos fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos. 3. Planta fuera de operación.	1. Líneas de directo. 2. Alarmas por bajo flujo FAL-4001 en la descarga de las bombas GA-4001A/B/R. 3. Alarma por bajo nivel LAL-4003. 4. Programa de mantenimiento a válvulas (dos veces por año).	1. Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y a tiempo.	3 (4)	3 (4)	7 (10) )	D
115	2.Falla en las bombas de carga GA-4001A/B/R.	1. Productos fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos. 3. Carbonización en serpentines. 4. Plantas fuera de operación (Estabilizadora y HDS).	1. Bomba de relevo GA-4001A/B/R. 2. Programa de mantenimiento a bombas. 3. Alarmas por bajo flujo FAL-4001 en la descarga de las bombas GA-4001A/B/R. 4. Alarma por bajo nivel LAL-4003. 5. Indicadores locales de nivel. 6. Procedimientos operativos.	1. Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y a tiempo. 2. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado. 3. Realizar estudio costo-beneficio para mejorar el sistema de lubricación en la bomba GA-4001B. 4. Estudio costo-beneficio para instalar sistema de doble sello (retrofit) a las bombas de carga GA-4001A/B/R.	2 (3)	2 (4)	4 (9)	D
116	3.Taponamiento en tren de precalentamiento.	1. Productos fuera de especificación. 2. Incumplimiento al programa de entrega de productos.	1. Procedimiento operativo. 2. Pasar a modo manual las válvulas de los serpentines de los calentadores. 3. Línea directa para las	1. Realizar estudio costo-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad (PSV's) de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación, para que en caso de que releven no se presione el sistema	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 8. Menor nivel en fondo de DA-4001

LOI: 50%

LOS: 65%

LSI: 40%

LSS: 90%

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	3. Carbonización en serpentines.	válvulas automáticas de los serpentines.	(tengan la capacidad adecuada).				
	4. Plantas fuera de operación (Estabilizadora y HDS).	4. Válvula de seguridad PSV-109.  5. Indicadores de presión a la entrada y salida de los intercambiadores.  6. Alarma de alta presión en el cabezal PAH-4001 (calibrada a 14 y 14.5 kg/cm2)					
117	4. Taponamiento de serpentines en calentadores BA-4001A/B	1. Alarma por bajo flujo.  2. Interlock de los quemadores BS-4001A/B.  3. Procedimiento operativo.  4. Indicadores de presión a la entrada y salida de los intercambiadores.  5. Bombas de relevo.  6. Línea directa de válvulas e intercambiadores.	1. Continuar con el mantenimiento a intercambiadores (limpieza interna).  2. Realizar estudio costo-beneficio para cambiar las válvulas de seguridad (PSV's) de los intercambiadores en el tren de precalentamiento (lado coraza) para las condiciones actuales de operación, para que en caso de que releven no se presione el sistema (tengan la capacidad adecuada).	2 (3)	2 (4)	4 (9)	D
118	5. Falla del LIC-4003 mandando abrir válvula FV-	1. Productos fuera de especificación.	1. Pasar el sistema en cascada a modo manual.  1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la Torre	2 (2)	1 (1)	3 (3)	A



Planta: Estabilizadora de crudo.

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 6. Torre Estabilizadora DA-4001 y bombas GA-4002A/B/R

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Crudo precalentado

Desviación: 8. Menor nivel en fondo de DA-4001

LOI: 50%

LOS: 65%

LSI: 40%

LSS: 90%

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
4004 y FV-4005.	<p>2. Incumplimiento al programa de entrega de productos.</p> <p>3. Cabitación y daño a las bombas GA-4002A/B/R con posible fuga e incendio.</p> <p>4. Planta fuera de operación.</p>	<p>2. Programa de mantenimiento a instrumentos.</p> <p>3. Procedimientos operativos.</p>	<p>Estabilizadora DA-4001, antes de las bombas GA-4002A/B/R para que en caso de siniestro se pueda aislar.</p> <p>2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.</p> <p>3. Difusión de los procedimientos operativos y capacitación continua al personal de operación.</p> <p>4. Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y a tiempo.</p>				



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 7. Acumulador FA-4001

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Gasolina cruda, C1 a C8 y H2S.

Desviación: 4. Mayor nivel de gasolina en acumulador      LOI: 0.45 m      LOS: 2.7 m      LSI: 0.15 m      LSS: 3.0 m

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
129 1.Composición del crudo de carga (mayor cantidad de ligeros).	1. Arrastre de gasolina al tanque de succión del compresor FA-4002.  2. Daños internos al compresor de proceso GB-4001 (especialmente daños en válvulas de succión y descarga del compresor).	1. Alarma por alto nivel LAH-4005.  2. Indicadores de presión PR-4054.  3. Indicadores de temperatura TI-4022.  4. Indicadores locales de nivel LG-4005 (verificada cada dos horas).  5. Bombas GA-4005A/R.  6. Bombas GA-4004A/B/R.  7. Procedimientos operativos.	NO HAY RECOMENDACIONES	4 (4)	2 (4)	7 (10 )	D
130 2.Crudo de carga con mayor cantidad de agua.	1. Arrastre de gasolina al tanque de succión del compresor FA-4002.  2. Daños internos al compresor de proceso GB-4001 (especialmente daños en válvulas de succión y descarga del compresor).	1. Alarma por alto nivel LAH-4005.  2. Indicadores de presión PR-4054.  3. Indicadores de temperatura TI-4022.  4. Indicadores locales de nivel LG-4005 (verificada cada dos horas).  5. Bombas GA-4005A/R.  6. Bombas GA-4004A/B/R.	1. Mantener en buenas condiciones el sistema de drenado de los tanques de crudo (bomba GA-188A/B en condiciones operables e instalación de bomba auxiliar).  2. Instalación de filtro en el cárcamo de las bombas GA-188A/B.  3. Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automático de drenado por interfase (AGAR).  4. Instalación de motores nuevos y capacidad correcta en las bombas GA-188A/B para trabajar a la intemperie.	1 (1)	3 (4)	4 (6)	C



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 7. Acumulador FA-4001

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Gasolina cruda, C1 a C8 y H2S.

Desviación: 4. Mayor nivel de gasolina en acumulador      LOI: 0.45 m      LOS: 2.7 m      LSI: 0.15 m      LSS: 3.0 m

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
		7. Procedimientos operativos. 8. Purgado y drenado manual de los tanques de carga. 9. Programa de mantenimiento a tanques de carga.	5. Adecuar a la planta para trabajar con crudo pesado.					
131	3.Falla de la válvula LV-4004 en posición de cerrado.	1. Daño en bomba GA-4015. 2. Emisión excesiva de agua amarga al drenaje aceitoso. 3. Daño al ambiente. 4. Posible atmósfera explosiva. 5. Presencia de agua en el reflujo. 6. Presionamiento de la torre. 7. Producto fuera de especificación (agua en la gasolina de carga a la HDS).	1. Línea de directo. 2. Alarma de nivel LAH-4004.	1. Realizar estudio costo-beneficio para instalar bomba de desalojo de agua amarga de mayor capacidad. 2. Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema adecuado para purgar el agua en la bota del acumulador FA-4001.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	B
132	4.Falla de la válvula LV-4005 en posición de cerrado.	1. Daño en bombas GA-4005A/R. 2. Fuga por sellos. 3. Posible incendio y calentamiento exterior del acumulador FA-4001.	1. Línea de directo. 2. Alarma por alto nivel LAH-4005. 3. Medidor de flujo FR-4004. 4. Alarma por bajo flujo FAL-4004.	1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-4001, antes de las bombas GA-4004A/B/R y GA-4005A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar. 2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las	2 (3)	1 (1)	3 (4)	B



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 7. Acumulador FA-4001

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Gasolina cruda, C1 a C8 y H2S.

Desviación: 4. Mayor nivel de gasolina en acumulador      LOI: 0.45 m      LOS: 2.7 m      LSI: 0.15 m      LSS: 3.0 m

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	4. Arrastre de gasolina al tanque de succión del compresor FA-4002. 5. Daños internos al compresor de proceso GB-4001 (especialmente daños en válvulas de succión y descarga del compresor). 6. Planta fuera de operación.	5. Procedimientos operativos. 6. Programa de mantenimiento predictivo y preventivo a válvulas (dos veces por año).	válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro. 3. Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.				
133 5.Falla en el transmisor LT-4005 mandando cerrar la LV-4005.	1. Daño en bombas GA-4005A/R. 2. Fuga por sellos. 3. Posible incendio y calentamiento exterior del acumulador FA-4001. 4. Arrastre de gasolina al tanque de succión del compresor FA-4002. 5. Daños internos al compresor de proceso GB-4001 (especialmente daños en válvulas de succión y descarga del compresor). 6. Planta fuera de operación.	1. Operación manual de LV-4005. 2. Línea de directo. 3. Medidor de flujo FR-4004. 4. Alarma por bajo flujo FAL-4004. 5. Procedimientos operativos. 6. Programa de mantenimiento predictivo y preventivo a transmisores (dos veces por año).	1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-4001, antes de las bombas GA-4004A/B/R y GA-4005A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar. 2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro. 3. Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.	1 (2)	1 (1)	1 (3)	A
134 6.Falla en las bombas GA-4005A/R.	1. Arrastre de gasolina al tanque de succión del compresor FA-4002.	1. Bomba de relevo. 2. Programa de mantenimiento	1. Dar seguimiento a la instalación de retrofit (doble sello) a las bombas y su conexión de sistema de enfriamiento a	1 (3)	2 (4)	3 (9)	D



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Estabilizado

Fecha:

Nodo: 7. Acumulador FA-4001

Diagramas: 1099-00023A

Producto: Gasolina cruda, C1 a C8 y H2S.

Desviación: 4. Mayor nivel de gasolina en acumulador

LOI: 0.45 m

LOS: 2.7 m

LSI: 0.15 m

LSS: 3.0 m

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	2. Daños internos al compresor de proceso GB-4001 (especialmente daños en válvulas de succión y descarga del compresor).	a bombas. 3. Programa de rotación de equipos. 4. Procedimientos operativos.	desfogue (de acuerdo a la recomendación del proveedor).				
	3. Planta fuera de operación.						



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Desbutanizado

Fecha:

Nodo: 8. Torre desbutanizadora DA-4002 e intercambiadores de carga EA-4018A/C a desbutanizadora.

Diagramas: 1099-00024A

Producto: C1 a C8, gasolina cruda

Desviación: 1. Sin flujo a la torre DA-4002      LOI: 15000 BPD      LOS: 40000 BPD      LSI: No aplica      LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
141 1.Falla en bomba GA-4005A/R.	1. Plantas fuera de operación (Estabilizadora y HDS).	1. Bomba de relevo. 2. Alarmas por bajo flujo FR-4042. 3. Procedimientos operativos. 4. Programa de rotación de equipos.	NO HAY RECOMENDACIONES	3 (3)	2 (3)	6 (7)	D
142 2.Falla de la LV-4005 en posición de cerrado.	1. Fuga por sellos en bombas GA-4005A/R. 2. Plantas fuera de operación (Estabilizadora y HDS).	1. Línea de directo. 2. Programa de mantenimiento a válvulas (dos veces por año, durante el programa se prueba el funcionamiento de la línea de directo). 3. Alarmas por bajo flujo FR-4042. 4. Procedimientos operativos.	1. Continuar con el mantenimiento a líneas de directo en la reparación general de la planta. 2. Elaborar un procedimiento para verificar periódicamente el funcionamiento de las válvulas automáticas y de directos durante la operación de la planta.	3 (4)	2 (4)	6 (10)	D
143 3.Compuerta caída en válvula de intercambiadores EA-4018A/B/C	1. Fuga por sellos en bombas GA-4012A/R con posible incendio. 2. Productos fuera de especificación. 3. Incumplimiento con el programa de entrega de productos. 4. Plantas fuera de operación (Estabilizadora y HDS).	1. Línea de directo de los intercambiadores. 2. Válvulas de seguridad PSV en los intercambiadores. 3. Procedimientos operativos.	1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo de la Torre Desbutanizadora DA-4002, antes de las bombas GA-4012A/R para que en caso de siniestro se pueda aislar. 2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro. 3. Verificar que estén abiertas y con candado las válvulas de bloqueo de las PSV's.	2 (2)	1 (1)	3 (3)	A



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Desbutanizado

Fecha:

Nodo: 8. Torre desbutanizadora DA-4002 e intercambiadores de carga EA-4018A/C a desbutanizadora.

Diagramas: 1099-00024A

Producto: C1 a C8, gasolina cruda

Desviación: 5. Menor reflujo		LOI:	LOS:	LSI:	LSS:		
Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
162 1.Falla en FV-4036.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Producto fuera de especificación.</li><li>2. Incumplimiento al programa de entrega de productos.</li><li>3. Presionamiento de la torre DA-4002.</li><li>4. Fuga por sellos en bombas GA-4007.</li><li>5. Posible incendio.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Línea de directo.</li><li>2. Alarma por alta temperatura.</li><li>3. Alarma por alta presión.</li><li>4. Alarma por bajo flujo FAL-4036.</li><li>5. Procedimiento operativo.</li><li>6. Programa de mantenimiento a válvulas (dos veces por año).</li><li>7. Válvula de seguridad.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Realizar un estudio costo-beneficio para la adaptación de la instalación a las condiciones de operación actuales (la válvula FV-4036 está muy cerrada y se está forzando la bomba GA-4007).</li><li>2. Poner en operación control en cascada del domo de la torre DA-4002.</li><li>3. Colocar plataformas para que los instrumentos (TRC-4023) estén accesibles para mantenimiento e inspección (en la DA-4002).</li></ol>	1 (2)	4 (4)	6 (7)	D
163 2.Falla de bomba GA-4007 por:  A) Bajo nivel en el FA-4004 (engasamiento de la bomba);  B) Fuga por sellos.	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Producto fuera de especificación.</li><li>2. Incumplimiento al programa de entrega de productos.</li><li>3. Presionamiento de la torre DA-4002.</li><li>4. Posible fuga e incendio.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Bomba de relevo.</li><li>2. Procedimiento operativo.</li><li>3. Programa de rotación de equipos.</li><li>4. Mantenimiento mecánico a bombas.</li></ol>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Instalar válvula de aislamiento y activación remota en fondo del tanque acumulador FA-4004 ubicada antes de las bombas GA-4007 para que en caso de siniestro se pueda aislar.</li><li>2. Crear un procedimiento operativo de emergencia para la operación de las válvulas recomendadas (VAAR's) en caso de siniestro.</li><li>3. Reforzar capacitación a personal de nuevo ingreso.</li><li>4. Dar seguimiento a la instalación de retrofit (doble sello) a las bombas y su conexión de sistema de enfriamiento a desfogue (de acuerdo a la recomendación del proveedor).</li></ol>	2 (2)	1 (1)	3 (3)	A



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Desbutanizado

Fecha:

Nodo: 9. Calentador BA-4002

Diagramas: 1099-00024

Producto: Gasolina desbutanizada

Desviación: 4. Fuga de gasolina desbutanizada por un serpentín. LOI: No aplica LOS: No aplica LSI: No aplica LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
174 1.Falla del material debido a: A) calentamiento, B) ataque corrosivo, C) material de tubos y soldadura fuera de especificación de acuerdo a condiciones de operación, D) soldadura mal aplicada.	1. Incendio en el calentador. 2. Plantas fuera de operación (Estabilizadora y HDS).	1. Aplicación de vapor a los serpentines. 2. Procedimientos de inspección y calibración. 3. Verificación del relevado de esfuerzos con prueba de dureza. 4. Análisis de materiales. 5. Verificación de calidad de soldaduras, pruebas hidrostáticas.	1. Utilizar materiales de acuerdo a especificación y realizar estudio costo-beneficio para evaluar el material adecuado de serpentines del calentador para las condiciones actuales de proceso. 2. Contar con refaccionamiento en calidad, cantidad y tiempo. 3. Estudio costo-beneficio para aplicación de tratamiento químico para evitar incrustación en serpentines de calentadores. 4. Soldadores calificados. 5. Rehabilitar detectores de gases explosivos y fuego.	2 (2)	1 (2)	3 (4)	B



Planta: Estabilizadora de crudo

Circuito: Desbutanizado

Fecha:

Nodo: 9. Calentador BA-4002

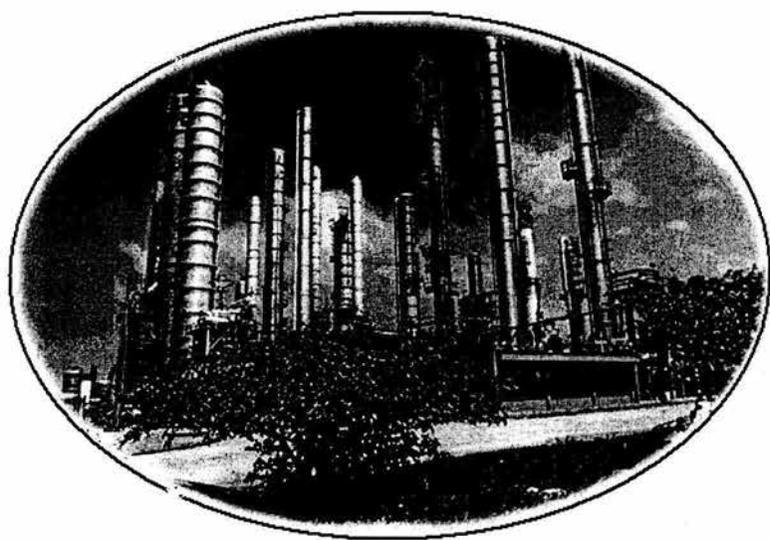
Diagramas: 1099-00024

Producto: Gasolina desbutanizada

Desviación: 5. Sin salida de gases de combustión en el calentador. LOI: No aplica LOS: No aplica LSI: No aplica LSS: No aplica

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
175 1.Mampara cerrada por tirante roto.	1. Mala combustión. 2. Contaminación con NOx. 3. Presionamiento del calentador. 4. Variación en la flama, y se apagan los quemadores. 5. Vibración en el calentador. 6. Fuga de gas combustible. 7. Riesgo de quemaduras al personal por salida de flamas por la parte inferior del calentador. 8. Posible explosión. 9. Producto fuera de especificación.	1. Procedimiento operativo de paro del calentador. 2. Inspección del tirante durante la reparación.	1. Realizar estudio costo-beneficio para instalar sistema automatizado para control de tiro basado en la señal de un analizador de oxígeno AR. 2. Eliminar corrientes parásitas (de aire) para asegurar el buen funcionamiento del analizador de oxígeno.	2 (2)	2 (2)	4 (4)	B

# BIBLIOGRAFÍA





## 5. BIBLIOGRAFÍA

1. Secretaría de Desarrollo Social, Instituto Nacional de Ecología. Regulación y gestión de productos químicos en México, enmarcados en el contexto internacional. México. 1ª edición. Noviembre de 1992. 267 pp.
  - Nota: El libro está agotado, pero está disponible en formato electrónico en la página de internet:  
[http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html?id\\_pub=33](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=33)
2. Stone & Webster Engineering Corporation. Risk Assessment And Risk Management For The Chemical Process Industry. Editado por Harris R. Greenberg y Joseph J. Craner. Van Nostrand Reinhold. New York. 1991.
3. CPR 14E. The Yellow Book. Methods for the calculation of the physical effects of the escape of dangerous material (Liquids and gases). Parts I and II. TNO. 1997.
4. Javier M. Cruz-Gómez, et. al. Artículo: Análisis de riesgos de procesos (ARP): Un esquema de mejora de la técnica "HazOp". Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ). Vol. 15 No. 2. Págs. 49-60. 2000.
5. Dirección General de protección civil. Ministerio del Interior. Real Decreto 1254/99. Artículo 3, R.D. 1254/1999. España. 20 de julio.
6. Fotografía tomada de Yehuda Sinai, AEA Technology. Pool Fire Modelling. Computacional Fluid Dynamics Software & services. <http://www-waterloo.ansys.com/cfx/>.
7. PEMEX. Manual de operación de la planta Estabilizadora de Crudo. 2002.



8. PIP. Process Industry Practices P&ID. PIP PIC001. Piping and Instrumentation Diagram Documentation Criteria. Construction Industry Institute, The University of Texas. November 1998.
9. American National Standard. ANSI/ISA 5.1. Instrumentation Symbols and Identification. Instrument Society of America. 13 July 1992.
10. Creus Solé, Antonio. Instrumentación Industrial. Ed, Alfaomega marcombo. 6<sup>a</sup> edición. Barcelona. 1997.
11. UNAM. Facultad de Química. HazOp Wizard versión 2.13. para Access 2000/XP ©. 2002.
12. Manual Técnico. Phast (Process Hazard Analysis Safety Tool) versión 6.0.
13. Dirección General de protección civil. Ministerio del Interior. Directriz Básica para el Riesgo Químico. Adenda 6, Resolución de 30 de enero de 1991. España.
14. ISA-S5.3. Graphic Symbols for Distributed Control/Shared Display Instrumentation, Logic and Computer Systems. Instrument Society of America. 1992.
15. Crowl/Louvar. Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications. Ed. Prentice Hall. 1990.
16. Santamaría Ramiro, J.M. y Braña Aísa, P.A. Análisis de Riesgos en la Industria Química. Capitulo II, Fundación MAPFRE, España, 1994.



17. UNAM-Facultad de Química. Taller de Análisis de Riesgos y Operabilidad. México, 1999.
18. AICHE. Apuntes del curso de metodología de análisis de riesgos y operabilidad (HazOp). 1999.
19. Gary H. James, et. al. Petroleum refining. Technology and Economics. 3<sup>rd</sup> ed. Ed. Marcel Dekker, Inc. New York. 1994.
20. Francisco Javier Valencia Callejas. Tesis de Licenciatura: "Análisis de riesgos en el área de almacenamiento de gas L.P. de la refinería Francisco I. Madero, en ciudad Madero Tamaulipas". Facultad de Química. UNAM. 2001.
21. SCRI manual. Modelos de cálculo para el análisis de consecuencias en la industria.  
<http://www.heuristics.com/index.htm>.
22. Página del Instituto Nacional de Ecología. Toma de decisiones en el control de riesgos.  
[http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/33/toma\\_de.html?id\\_pub=33&id\\_tema=&dir=Consultas](http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/libros/33/toma_de.html?id_pub=33&id_tema=&dir=Consultas).