

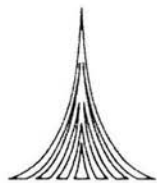


UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA
CAMPUS II

“ANÁLISIS DE RIESGO DE PROCESO DE
UNA PLANTA DESPARAFINADORA
DE ACEITES LUBRICANTES”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO
P R E S E N T A :
BALMORE HERNÁNDEZ MARTÍNEZ



UNIDAD E: LA DIVERSIDAD
ZARAGOZA-FRENTE AL SIGLO XXI

MÉXICO, D. F.

OCTUBRE 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.



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/018/04

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: HERNÁNDEZ MARTÍNEZ BALMORE

P r e s e n t e .

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

Presidente:	I.Q. Francisco Javier Mandujano Ortiz
Vocal:	Dr. Modesto Javier Cruz Gómez
Secretario:	Dr. Néstor Noé López Castillo
Suplente:	I.Q. María del Rocío Luja Hernández
Suplente:	I.Q. Luz Elena Flores Bustamante

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

A T E N T A M E N T E

“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”

México, D. F., 19 de Abril de 2004

EL JEFE DE LA CARRERA

M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA



DEDICATORIAS

A mis amigos Albar, Alfredo, Adma, Claudia, Esmeralda, Fanny, Israel, Norma y Raúl por hacer mas fácil y grato el camino. Por los buenos momentos juntos les doy las ¡Gracias!

A mis grandes amigos de la FEZ Adolfo, Ángel, Carlos Andrés, Cuauhtemoc, Fernando, Homero, Hugo, Jaime, Leonel, Luís, Lupita, Manolo, Margarita, Maria de Jesús, Mateá, Omar, Rafa, Ricardo, Rigoberto y Tania por hacer una experiencia inolvidable el haber pertenecido a la FEZ y por su amistad le doy las ¡Gracias!

*A mis amigos del LAB. de la Facultad de Química Orlando, Tenango, Jazahel, el lobo, Gina, Efraín, Fermín, Hugo y en especial a José de Jesús, Cynthia, Carlos, Raúl y Jessica por todo el apoyo y amistad que me brindaron desde que llegue a laborar con ustedes.
¡Gracias!*

A todos los que de alguna u otra forma han formado parte de mi vida, ya que gracias a ello me he formado como persona y profesionista. ¡Gracias!

DEDICATORIAS

A mi Mamá por ese gran amor y cariño que siempre me ha dado, por creer en mí y por nunca dudar en que puedo alcanzar todas las metas que me he puesto, porque al brindarme tu apoyo incondicional he podido terminar mi carrera. Por todo el esfuerzo, sacrificio y dedicación así mí, te doy las gracias. Eres un ejemplo para mí.

A mi Papá por ayudarme y aconsejarme cuando lo he necesitado, por su amor y cariño, porque a tu manera me apoyaste para poder alcanzar la meta que me propuse. ¡Gracias!

A mi hermano Gibrán por ser un amigo incondicional, por los consejos y la ayudada brindada; por todo lo que hemos vivido juntos te doy las ¡Gracias! Eres el mejor amigo que tengo y se que siempre contare con tu amor y cariño en las buenas y en las malas.

A mi hermanito Yoadir por ser el pequeño de la casa, por que siempre he contado con tu apoyo y cariño, por ser como eres de doy las ¡Gracias!

A mi familia por el amor y cariño, por impulsarme día a día a seguir adelante; por nunca dudar que en que puedo alcanzar mis sueños, les doy las ¡Gracias a todos!

DEDICATORIAS

A mis amigos Albar, Alfredo, Adma, Claudia, Esmeralda, Fanny, Israel, Norma y Raúl por hacer mas fácil y grato el camino. Por los buenos momentos juntos les doy las ¡Gracias!

A mis grandes amigos de la FEZ Adolfo, Ángel, Carlos Andrés, Cuauhtemoc, Fernando, Homero, Hugo, Jaime, Leonel, Luis, Lupita, Manolo, Margarita, Maria de Jesús, Mateó, Omar, Rafa, Ricardo, Rigoberto y Tania por hacer una experiencia inolvidable el haber pertenecido a la FEZ y por su amistad le doy las ¡Gracias!

*A mis amigos del L.A.B. de la Facultad de Química Orlando, Fenango, Jazahel, el lobo, Gina, Efraín, Fermín, Hugo y en especial a José de Jesús, Cynthia, Carlos, Raúl y Jessica por todo el apoyo y amistad que me brindaron desde que llegue a laborar con ustedes.
¡Gracias!*

A todos los que de alguna u otra forma han formado parte de mi vida, ya que gracias a ellos me he formado como persona y profesionalista. ¡Gracias!



RESUMEN

Durante los últimos años la industria química ha crecido significativamente en número y capacidad, esto se debe al nacimiento de nuevas tecnologías, automatización de las plantas, al crecimiento de la población mundial, a la demanda de la sociedad por mejorar su entorno, entre otras cosas.

La seguridad es una parte muy importante para la industria en general, debido a que los accidentes generados en el transcurso de los años ha provocado cuantiosas pérdidas en la producción, medio ambiente y vidas humanas.

La administración de la seguridad es una base firme que establece una infraestructura encaminada a la efectiva administración de una industria. Por ello, se hace obligatorio el análisis de riesgos en las industrias.

Un análisis de riesgo cubre esencialmente dos tipos de actividades: la evaluación de riesgos y la administración de riesgos. La primera está enfocada a determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento que genere un accidente y determinar en cuanto valoran las personas las situaciones alternativas que involucren diferentes niveles de riesgo. La segunda se refiere a las políticas externas e internas de la industria o bien, planta de proceso que tienen como objetivo la reducción de riesgos a los cuales se exponen los seres humanos principalmente, además de realizar estudios de riesgo-beneficio.

Este trabajo consiste en ejemplificar lo expuesto anteriormente. En el cual se lleva a cabo un análisis de riesgo a una Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes del sector de la Industria Petroquímica, aplicando métodos de Análisis de riesgos como son el Análisis de peligros y operabilidad (HazOp), Árbol de Fallas (FTA) y Análisis de Consecuencias. Donde se obtuvieron una serie de recomendaciones, para disminuir en lo posible el nivel de riesgo dentro de las instalaciones de la planta y sus alrededores, minimizando las pérdidas en la producción, de vidas humanas y daños al medio ambiente.



ÍNDICE

CONTENIDO	PAG
ÍNDICE DE TABLAS.	V
ÍNDICE DE FIGURAS.	VI
ÍNDICE DE DIAGRAMAS.	VII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.	
1.1. INTRODUCCIÓN.	1
1.2. OBJETIVOS.	3
1.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS USADAS PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES).	3
1.4. ETAPAS DEL PROYECTO.	4
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.	
2.1. CONCEPTO DE RIESGO.	5
2. 2. ANÁLISIS DE RIESGOS.	6
2.2.1. Identificación de peligros.	7
2.2.2. Identificación de las consecuencias.	7
2.2.3. Estimación del riesgo.	7
2.2.3.1. Severidad del daño o gravedad del daño.	7
2.2.3.2. Probabilidad de que ocurra el daño (evaluación del riesgo).	8
2.3. DEFINICIÓN Y ORIGEN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.	9



2.4. TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO DE UNA PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES.	10
2.4.1. Análisis de peligros y operabilidad (HazOp).	10
<i>2.4.1.1. Generalidades.</i>	10
2.4.1.1.1. Causas de desviaciones.	11
2.4.1.1.2. Consecuencias de desviaciones.	11
2.4.1.1.3. Objetivos del análisis HazOp.	12
2.4.1.1.4. Propósito del análisis HazOp.	12
2.4.1.1.5. Características del análisis HazOp.	12
2.4.1.1.6. Información requerida para realizar el análisis HazOp.	13
<i>2.4.1.2. Metodología para realizar un análisis HazOp.</i>	
2.4.1.2.1. Formación de un equipo multidisciplinario para realizar el análisis HazOp.	13
2.4.1.2.2. Descripción del método de análisis HazOp.	14
2.4.1.2.3. Tipos de matrices de riesgos.	19
2.4.1.2.4. Matriz de clase de riesgo.	19
2.4.1.2.5. Diferencia entre las matrices de índice y de clase de riesgo.	20
2.4.2. Árbol de Fallas (FTA).	20
<i>2.4.2.1. Elementos del Árbol de Fallas (FTA).</i>	21
<i>2.4.2.2. Ventajas y desventajas del Árbol de Fallas.</i>	24
<i>2.4.2.3. Elaboración del Árbol de Fallas.</i>	24
2.4.3. Análisis de Consecuencias (AC).	25
<i>2.4.3.1. Pasos para desarrollar un (AC).</i>	25



2.4.3.2. Modelos de cálculo para un (AC).	25
CAPÍTULO III. TRABAJO DE CAMPO.	
3.1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.	27
3.1.1. Generalidades de la desparafinación.	27
3.1.1.1. Fraccionamiento de parafina primaria.	29
3.1.1.2. Desaceitado o repaso de la parafina.	30
3.1.1.3. Lavado de filtros.	31
3.1.1.4. Recuperación del solvente.	31
3.1.1.5. Recuperación de aceite desparafinado.	31
3.1.1.6. Recuperación de solvente del circuito de parafina dura.	32
3.1.1.7. Recuperación de solvente del circuito de parafina suave.	33
3.1.1.8. Secado de solvente.	33
3.1.1.9. Sistema de gas inerte.	34
3.1.1.10. Enfriamiento con propano.	34
3.1.2. Sistema de enfriamiento con propano.	35
3.2. REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP).	41
3.2.1. Desarrollo de trabajo para el Análisis de Peligros y operabilidad (HazOp).	41
3.2.2. Matriz de índice y clase de riesgos utilizada en el análisis de peligros y operabilidad (HazOp) del sistema de enfriamiento con propano.	41
3.2.2.1. Matriz de índice de riesgos 4 X 5.	42
3.2.2.2. Matriz de clase de riesgos 4 X 5.	43
3.2.3. Lista de buenas prácticas operacionales.	44



3.2.4. Resultados del análisis (HazOp).	44
3.3. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.	61
3.3.1. Descripción del escenario para el análisis de Árbol de Fallas.	61
3.3.2. Criterio para la asignación de probabilidades a los eventos básicos en un Árbol de Fallas.	62
3.3.3. Diagramas de Árbol de Fallas.	62
3.3.4. Obtención de la ecuación de probabilidad de ocurrencia.	65
3.3.4.1. Ecuación de probabilidad.	65
3.3.5. Resultados del Árbol de Fallas.	66
3.4. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC).	73
3.4.1 Evaluación de efectos de incendio, explosión y derrame en el Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes.	73
3.4.2. Descripción de los escenarios de accidentes.	74
3.4.3. Datos requeridos para cada modelo.	74
3.4.4. Consideraciones para la evaluación de efectos de incendio y explosión.	75
3.4.4.1. Niveles de radiación y niveles de sobrepresión.	76
3.4.5. Resultados del análisis de consecuencias (AC) en el sistema de enfriamiento con propano de la planta desparafinadora de aceites lubricantes.	77
3.4.5.1. Resultados del escenario no. 1. Ruptura por sobrepresión del acumulador de propano 5C-29.	78
3.4.5.2. Resultados del Escenario no. 2. Ruptura en la descarga del compresor de propano 5K-1 A/B.	79



CAPÍTULO IV. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES

4.1. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS HAZOP PARA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES).	88
4.2. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS PARA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES).	89
4.3. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS PARA EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES).	90
4.4. CONCLUSIONES.	91
APÉNDICE A	93
APÉNDICE B	95
APÉNDICE C	96
APÉNDICE D	98
BIBIOGRAFÍA	99



	ÍNDICE DE TABLAS	PAG.
Tabla 1.1	Algunos accidentes dentro de la industria.	1
Tabla 2.1.	Clasificación de las técnicas de análisis de riesgos.	9
Tabla 2.2.	Descripción de la metodología HazOp.	14
Tabla 2.3.	Palabras guía.	16
Tabla 2.4.	Matriz de desviaciones generalizada.	17
Tabla 2.5.	Matriz de desviaciones.	18
Tabla 2.6.	Gravedad-frecuencia.	20
Tabla 2.7.	Propiedades del álgebra booleana.	21
Tabla 2. 8	Simbología del Árbol de Fallas que se puede utilizar	23
Tabla 3.1.	Diagramas de apoyo para la descripción de proceso de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes y análisis HazOp del Sistema de Enfriamiento con Propano.	27
Tabla 3.2.	Temperaturas de filtración.	27
Tabla 3.3.	Temperaturas de filtración de fraccionamiento.	30
Tabla 3.4.	Temperaturas de filtración en los filtros de repaso.	31
Tabla 3.5.	Tabla de índice de riesgos de frecuencia-gravedad.	42
Tabla 3.6.	Tabla de gravedad.	42
Tabla 3.7.	Tabla de frecuencia.	43
Tabla 3.8.	Tabla de clase de riesgos de frecuencia-gravedad.	43
Tabla 3.9.	Significado de la clase de riesgos.	43
Tabla 3.10	Lista de buenas prácticas operacionales.	44
Tabla 3.11.	Descripción del Análisis HazOp para el circuito de Enfriamiento con Propano.	45



Tabla 3.12.	Descripción del escenario: falla en el compresor de propano 5K-1A/B.	61
Tabla 3.13.	Valores de probabilidad en función de la frecuencia con que ocurren los eventos.	62
Tabla 3.14.	Relación de diagramas de Árbol de Fallas.	63
Tabla 3.15.	Probabilidad y frecuencia de los eventos básicos y no desarrollados.	64
Tabla 3.16.	Probabilidad y frecuencia de los eventos intermedios.	66
Tabla 3.17.	Probabilidad y frecuencia del evento culminante.	67
Tabla 3.18.	Escenarios de accidentes para el AC del Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes.	74
Tabla 3.19.	Datos requeridos para cada escenario.	75
Tabla 3.20.	Niveles de radiación.	77
Tabla 3.21.	Niveles de sobrepresión.	77
Tabla 3.22.	Nivel de radiación BLEVE.	78
Tabla 3.23.	Ignición temprana (Early Ignition).	79
Tabla 3.24.	Ignición tardía (Late Ignition).	79
Tabla 3.25.	Nivel de radiación dardo de fuego (jet fire).	80
Tabla 3.26.	Ondas de presión explosión por ignición tardía.	80
Tabla 3.27.	Radios de afectación por concentración del flamazo (Flash Fire).	81



ÍNDICE DE FIGURAS		PAG
FIGURA 2.1,	Diagrama de flujo de la metodología del HazOp	15
FIGURA 2.2.	Hoja de registro de sesiones "HazOp".	19

ÍNDICE DE DIAGRAMAS		PAG
DFP-U5-01	Proceso Primario (1/2).	36
DFP-U5-02	Proceso Primario (2/2).	37
DFP-U5-03	Sección de recuperación de solvente (1/2).	38
DFP-U5-04	Sección de recuperación de solvente (2/2).	39
DFP-U5-05	Sistema de refrigeración con propano.	40
FTA-U5-01(1/3)	Diagrama de Árbol de Fallas para Falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (inicial o sin reducir).	68
FTA-U5-01(2/3)	Diagrama de Árbol de Fallas para Falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (inicial o sin reducir).	69
FTA-U5-01(3/3)	Diagrama de Árbol de Fallas para Falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (inicial o sin reducir).	70
FTA-U5-02 (1/2)	Diagrama de Árbol de Fallas para Falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (Reducido).	71
FTA-U5-02 (2/2)	Diagrama de Árbol de Fallas para Falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (Reducido).	72
AC-U5-01	Ruptura por sobrepresión del acumulador de propano, 5C-29. Explosión BLEVE.	82



AC-U5-02	Ruptura por sobrepresión del acumulador de propano, 5C-29. Ondas de sobrepresión	83
AC-U5-03	Ruptura por sobrepresión del acumulador de propano, 5C-29. Ondas de sobrepresión para explosión tardía.	84
AC-U5-04	Ruptura en la descarga del compresor de propano, 5K-1 A/B. Niveles de radiación Jet Fire	85
AC-U5-05	Ruptura en la descarga del compresor de propano, 5K-1 A/B. Ondas de sobrepresión ignición tardía.	86
AC-U5-06	Ruptura en la descarga del compresor de propano, 5K-1 A/B. Flash Fire.	87





1.1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería química ha evolucionado durante los últimos años mejorando el análisis de riesgos, la administración, la supervisión y el control de los procesos. El ingeniero químico es el responsable de aplicar los conocimientos teóricos de la ingeniería química a la solución de problemas en los procesos productivos industriales, donde se modifica el estado físico o la composición química de los materiales, con la finalidad de obtener un producto o un servicio en forma óptima.

Durante los últimos años la industria química ha crecido significativamente en número y capacidad, esto se debe al nacimiento de nuevas tecnologías, automatización de las plantas, al crecimiento de la población mundial, a la demanda de la sociedad por mejorar su entorno, entre otras cosas.

Este desarrollo ha propiciado un aumento en el número de personas que cada día están expuestas a las consecuencias de un accidente industrial, así también, las empresas están expuestas a pérdidas por daños a las instalaciones, los equipos, la materia prima y la productividad.

Los accidentes provocan cuantiosas pérdidas humanas, materiales e impacto ambiental severo, en la tabla 1.1 se muestran algunos accidentes ocurridos dentro de la industria.

Tabla 1.1 Algunos accidentes dentro de la industria.

LUGAR	ACCIDENTE
Flixborough(Gran Bretaña) 1 de Junio de 1974	Explosión de una nube de gas producida por una ruptura de tubería que descargaba ha aproximadamente 80 toneladas de ciclohexano líquido caliente.
San Juan Ixhuatepec (México, D.F.) 19 de Noviembre de 1984	Explosión de contenedores de gas LP.
Bophal (India) 2 de Diciembre de 1984	Fuga de isocianato de metilo en una planta de Unión Carbide, la emisión del gas se esparció sobre una superficie de 40 Km.
Texas (EUA) Octubre de 1987	Fuga de ácido fluorhídrico.
Mar del norte Plataforma Piper Alfa (Noruega) Julio de 1988	Fuga de gas iniciada al encender unos compresores mientras se les daba mantenimiento
Guadalajara (México) 23 de abril de 1992	Explosión en cadena a lo largo de una red urbana de alcantarillado de aproximadamente 13 Km de longitud debido a la presencia de combustible por una fuga de una tubería.

La administración de casi todas las industrias, en sus distintos niveles, se ha manifestado a esta creciente sensibilidad social y ha realizado esfuerzos importantes para regular las actividades de la industria en general dándole más importancia a aquellas que presentan mayor riesgo. Estos esfuerzos tienen como objetivo la reducción de accidentes, sobre todo de los catastróficos, durante la fabricación de productos químicos.



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

Un análisis de riesgo cubre esencialmente dos tipos de actividades: la evaluación de riesgos y la administración de riesgos. La primera está enfocada a determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento que genere un accidente y determinar en cuanto valoran las personas las situaciones alternativas que involucren diferentes niveles de riesgo. La segunda se refiere a las políticas externas e internas de la industria o bien, planta de proceso que tienen como objetivo la reducción de riesgos a los cuales se exponen los seres humanos principalmente, además de realizar estudios de riesgo-beneficio.

La industria petrolera en México, buscando ser una de las empresas líderes en materia de seguridad industrial y protección ambiental, está implementando dentro de sus instalaciones el Sistema Integral de Administración y Protección Ambiental (SIASPA). Para el diseño del SIASPA se han estudiado otros sistemas utilizados por empresas petroleras internacionales como EXXON, BRITISH PETROLEUM, SHELL y CONOCO. El SIASPA⁽¹²⁾, esta integrado por 18 elementos relacionados con el factor humano, los sistemas de trabajo y las instalaciones. El elemento 12 involucra los análisis de riesgos y tiene los siguientes objetivos:

- Identificar riesgos a la salud, a la integridad física, al medio ambiente y a la propiedad.
- Reducir los riesgos a los trabajadores, población circunvecina, y a las instalaciones, mediante técnicas adecuadas, como medidas de prevención, protección y control, para controlarlos y reducirlos a “niveles aceptables”.
- Reducción significativa de incidentes e impactos ambientales, así como sus consecuencias y costos asociados.
- Lograr que el personal lleve a cabo sus actividades con plena conciencia de los riesgos que implica la operación.
- Mejorar la operabilidad y confiabilidad del proceso.
- Establecer planes de emergencia y medidas de protección.

Petróleos Mexicanos (PEMEX) preocupado por dar cumplimiento detallado a cada uno de los elementos del SIASPA y para poder dar seguimiento al punto 12 relacionado con el análisis de riesgos dentro de sus instalaciones, requirió un estudio del proceso en una Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes, el cual se expone en este trabajo.

La Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes se utiliza para separar las parafinas de los aceites lubricantes mejorando su calidad y así producir aceites de mayor valor en el mercado.



1.2. OBJETIVOS

- Realizar un análisis de riesgos al Sistema de Enfriamiento con Propano de una Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes, mediante la técnica de Análisis de Peligros y Operabilidad (HazOp).
- Realizar una evaluación cuantitativa de los eventos culminantes mediante la técnica del Análisis de Árbol de Fallas y sus medidas de protección para disminuir sus efectos.
- Realizar la selección de un escenario hipotético de accidente para evaluar mediante un modelo sus consecuencias y proponer medidas de protección para disminuir sus efectos dentro de la planta y sus alrededores, mediante la técnica de Análisis de Consecuencias (AC).
- Establecer las medidas para controlar y reducir el nivel de riesgos en el Sistema de Enfriamiento con Propano de una Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes con el fin de mejorar la operabilidad del área.
- Obtener, una vez realizado el análisis de riesgos, una lista de recomendaciones que al ser implementadas conforme a su prioridad, mejorará la operación e incrementará la seguridad de la planta.

1.3. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS USADAS PARA EL ESTUDIO DEL SISTEMA DE EN ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES)

En este trabajo se utilizaron las siguientes técnicas:

La técnica de análisis de riesgos HazOp: Es un método sistemático usado por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad de una planta química, petroquímica o de refinación, del cual se obtienen recomendaciones para **eliminar, reducir o controlar** los riesgos identificados, proponiendo acciones para resolverlas o minimizar su impacto en el entorno.

La técnica de análisis de Árbol de Fallas consiste en un método deductivo basado en leyes de álgebra de Boole que permite determinar en forma de expresión matemática los sucesos complejos estudiados en función de las fallas básicas de los elementos que intervienen en él y determinar la probabilidad de ocurrencia, y como resultado, ayudar a tomar la decisión de **aceptar** o no el riesgo.

El análisis de consecuencias: Este método permite visualizar las situaciones y efectos que tiene un incidente y a desarrollar acciones que reduzcan el riesgo del evento, así como los posibles daños al personal y la planta.

Haciendo uso apropiado de estas técnicas de análisis de riesgos se podrá evaluar la magnitud y probabilidad de que ocurra un accidente, y se guiará al equipo de análisis a encontrar sistemáticamente las recomendaciones para eliminar, reducir o controlar el riesgo dentro de la planta, así como el de mejorar el funcionamiento de la sección de Enfriamiento con Propano y de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes en general.



1.4 ETAPAS DEL PROYECTO

Recopilación de información y actualización de DFP's y DTI's

En esta etapa del proyecto se recopiló información como manuales de operación de la planta, cartas de secuencias de control de instrumentos, procedimientos operacionales, capacidades de diseño, materiales de construcción, registros históricos de accidentes, etc., relacionada con la operación y seguridad de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes, se actualizaron los diagramas de flujo de proceso (DFP's) y los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's), con el fin de obtener información precisa de las condiciones en que se encuentra la planta para realizar el análisis de riesgos.

Realización del análisis de riesgos al Sistema de Enfriamiento con Propano

En esta etapa del proyecto se realizó un estudio HazOp en el cual se formó un grupo multidisciplinario conformado por: Ingenieros. de Proyectos, de Operación, de Procesos, de Instrumentos, de Mantenimiento, de Seguridad y personal con experiencia en la aplicación de la técnica de análisis HazOp, el cual participó en las sesiones de trabajo. También, se seleccionaron los circuitos a los que se les debía identificar los riesgos, aplicando las palabras guía a los parámetros que se consideran importantes del proceso. Basados en los resultados del análisis HazOp, se seleccionó el escenario de accidente más probable para realizar un Análisis de Árbol de Fallas y determinar la probabilidad de que ocurra un accidente realizando un Análisis de Consecuencias, para visualizar el impacto que tendría al efectuarse dicho accidente.

Análisis de resultados

Se presentan los resultados de la técnica HazOp, Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias, a través de una serie de recomendaciones que fueron jerarquizadas de acuerdo al nivel de importancia dentro de un plan de trabajo, el cual se elaboró para darle seguimiento a las acciones necesarias para la implementación de las recomendaciones en los lugares establecidos.

Elaboración del plan de trabajo

A partir de las hojas de datos generadas en las sesiones HazOp, se elaboró una lista de recomendaciones jerarquizadas, de acuerdo a la gravedad y probabilidad del escenario supuesto, por lo cual se seleccionaron las recomendaciones con mayor probabilidad de reducción de riesgos. A partir de las recomendaciones generadas se elabora un plan de trabajo donde se establecen medidas de protección para disminuir los riesgos dentro de la planta y sus alrededores.





2.1 CONCEPTO DE RIESGO

La palabra **riesgo** se puede definir como la medida de la pérdida económica y/o de daños para la vida humana y el medio ambiente, expresada en función de la probabilidad del suceso no deseado y la magnitud de las consecuencias^(1,7).

$$R=f(P, C)$$

Siendo:

- R= riesgo;
- f= función
- P= probabilidad
- C= magnitud de las consecuencias (pérdidas y/o daños).

De manera general se tiene que:

$$\text{Riesgo} = P \times C$$

El **riesgo** está siempre asociado a la probabilidad de que ocurra un evento no deseado. Por ello, no debe confundirse con el **peligro** que es una propiedad intrínseca de una situación que puede provocar el evento no deseado y que no puede controlarse o reducirse. Existe una diferencia clara entre riesgo y peligro aunque frecuentemente se dice que hay un peligro elevado cuando realmente se quiere decir que el nivel de riesgo es alto.

La palabra **peligro** significa cualquier condición física o química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad.

Existen palabras que al igual que riesgo y peligro se confunden muy fácilmente, estas palabras son accidente e incidente.

La palabra **accidente** significa cualquier acontecimiento indeseado o inesperado que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema, o un evento repentino que sobreviene por causa de una actividad realizada, con consecuencias para el ser humano, el medio ambiente y/o las instalaciones y pueden ser clasificados como accidentes menores o accidentes mayores.

La palabra **incidente** significa cualquier acontecimiento anormal que implica una desviación en las condiciones de diseño de un sistema, o un evento anormal que se presentan durante una actividad y conlleva a un riesgo potencial de lesiones o daños materiales sin que estos se presenten.

El riesgo también puede ser definido a través de las siguientes expresiones:

- Combinación de incertidumbre y daño.
- Razón entre peligro y las medidas de seguridad.
- Combinación entre evento, probabilidad y consecuencias.



2.2 ANÁLISIS DE RIESGOS

El análisis de riesgo es una disciplina que se aplica de manera sistemática y organizada para identificar las debilidades asociadas al diseño u operación de un equipo o un proceso determinado, por medio de una serie de técnicas que identifican escenarios que podrían conducir a consecuencias indeseables como daños a un sistema, a las personas, al medio ambiente o a la propiedad/industria; y determinar las medidas para controlar estos riesgos y eliminar o en su defecto, mitigar sus consecuencias.

Muchas de las actividades que se realizan en la industria química presentan un riesgo, que sólo se puede eliminar si desapareciera la industria química, esta medida no es posible porque dependemos de ella; la solución real es determinar cual es el nivel de riesgo aceptable en una instalación o proceso.

Para decidir si un riesgo es o no aceptable, se requiere estimar su magnitud mediante un análisis de riesgos, es decir, se debe hacer una estimación cuantitativa del *nivel* del peligro potencial que representa una actividad, tanto para el personal como para los bienes materiales, en términos de la magnitud del daño y la probabilidad de que tenga lugar.

La decisión de aceptar o no el riesgo es difícil, porque se deben tomar en cuenta consideraciones humanas, económicas, de responsabilidad legal y de imagen pública.

Por ello es necesario que el análisis de riesgos se realice a lo largo del ciclo de la vida de la planta como son las etapas de:

- Investigación y desarrollo.
- Diseño.
- Construcción de la planta.
- Puesta en marcha.
- Operación.
- Modificaciones de proceso.
- Paros periódicos.
- Desmantelamiento.
- Abandono del sitio.

Los resultados obtenidos del análisis de riesgos se utilizan para tomar las decisiones (en gerencia o administración de riesgos), ya sea, mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de riesgos de acuerdo a su gravedad, o mediante la comparación con los niveles de riesgos fijados como objetivo (intenciones de diseño) en una determinada actividad.

El análisis de riesgos permite cuantificar el potencial de accidentes, que se pudieran suscitar una determinada instalación o proceso y comparar las distintas alternativas de solución. Un análisis de riesgos que es orientado a la prevención de accidentes implica las etapas que se describen en las siguientes secciones.



2.2.1 IDENTIFICACIÓN DE PELIGROS

La identificación de peligros consiste en determinar con base en las sustancias y el manejo de estas a lo largo del proceso, las situaciones que podrían causar un daño potencial al personal de trabajo o a la operación de la planta. Que se puede traducir en pérdidas humanas y económicas.

Para llevar a cabo la identificación de peligros hay que preguntarse tres cosas:

- ¿Existe una fuente de daño?
- ¿Quién (o qué) puede ser dañado?
- ¿Cómo puede ocurrir el daño?

Con el fin de ayudar en el proceso de identificación de peligros, es útil categorizarlos en distintas formas, por ejemplo, por temas: mecánicos, eléctricos, radiaciones, sustancias químicas, incendios, explosiones, etc., o por la magnitud del daño que se pueda ocasionar al personal o instalaciones de la planta.

2.2.2 IDENTIFICACIÓN DE LAS CONSECUENCIAS

En esta fase del estudio se pretende obtener una lista de todas las desviaciones que:

- Puedan producir un efecto adverso significativo.
- Tengan una probabilidad razonable de producirse, es decir, que las circunstancias para que se de el evento no sean fuera de la realidad o muy exageradas.

Se dice que es un efecto adverso a aquello que no se comporta como se esperaba, como ejemplo, cuando se tiene un comportamiento diferente al de diseño en las variables de proceso (temperatura, presión, flujo, nivel, etc.).

La identificación de las circunstancias, tanto peligros como sus consecuencias se lleva a cabo mediante códigos, listas de verificación, análisis histórico de incidentes, métodos basados en índices de peligros, análisis de desviaciones mediante la técnica ¿Qué pasa si? (What if), análisis de peligros y operabilidad (HazOp), análisis de modos de falla y efectos (FMEA), etc.

2.2.3 ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Para cada peligro detectado debe estimarse el riesgo, determinando el potencial de severidad del daño (gravedad) y la probabilidad de que ocurra el hecho.

2.2.3.1 SEVERIDAD DEL DAÑO O GRAVEDAD DEL DAÑO

Para determinar el potencial de severidad del daño, debe considerarse:

- Partes del cuerpo que se verán afectadas como: piernas, brazos, manos, cabeza etc.



- Naturaleza del daño, graduándolo desde ligeramente dañino a extremadamente dañino, como ejemplo, se tiene: un accidente por fuego ocasiona quemaduras superficiales en el cuerpo hasta quemaduras que pongan en riesgo la vida de la persona que se ve involucrada en el accidente.

2.2.3.2 PROBABILIDAD DE QUE OCURRA EL DAÑO

La palabra probabilidad se define como el conjunto de eventos o reglas que permiten determinar si un acontecimiento se puede producir, basado en estadísticas anteriores o en la teoría.

La probabilidad de que ocurra el daño se puede graduar, desde baja hasta alta, con el siguiente criterio:

- Probabilidad alta: El daño ocurrirá siempre o casi siempre.
- Probabilidad media: El daño ocurrirá en algunas ocasiones.
- Probabilidad baja: El daño ocurrirá raras veces.

Esta clasificación no es la única. Existen otros criterios como los siguientes:

- Inminente (puede ocurrir en cualquier momento).
- Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año).
- Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año).
- Poco probable (no se ha presentado en 5 años).
- Improbable (no se ha presentado en 10 años).
- No se ve probabilidad de que ocurra.

En el momento de establecer la probabilidad de que ocurra el daño, se debe considerar si las medidas de control ya implantadas son adecuadas, así como los requisitos legales y los códigos de buenas prácticas para medidas específicas de control, ya que también juegan un papel importante. Además de la información sobre las actividades de trabajo, se debe considerar lo siguiente:

- Trabajadores especialmente sensibles a determinados riesgos (características personales o estado biológico), o sea personas sensibles a ruidos, exposición a sustancias tóxicas, personas con enfermedades crónicas, etc.
- Frecuencia de exposición al peligro.
- Fallas en los servicios. Por ejemplo: electricidad y agua.
- Fallas en los componentes de las instalaciones y de las máquinas, así como en los dispositivos de protección, como son alarmas, sensores, red contra-incendios, etc.
- Exposición a los elementos, como sustancias tóxicas, equipos a altas temperaturas, equipos en mal funcionamiento, etc.
- Protección suministrada por el equipo de protección contra incendio (EPI) y tiempo de vida de utilización de estos equipos.
- Actos inseguros de las personas como errores no intencionados y violaciones intencionadas de los procedimientos.



2.3 DEFINICIÓN Y ORIGEN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

El soporte de las diversas técnicas de riesgo radica en apoyar, con herramientas sistemáticas y especializadas, la identificación y evaluación de los riesgos en las diferentes áreas de proceso. Estas técnicas que integran el Estudio de Seguridad de Procesos, han sido desarrolladas por diversas compañías e instituciones para su aplicación. Las técnicas tienen aspectos comunes y diferenciados, por lo cual se pueden dividir en tres principales métodos:

- Los métodos comparativos: se basan en la experiencia previa acumulada de un campo determinado de quienes llevan a cabo el análisis, bien como registro de accidentes previos, o reunida en forma de códigos o listas de comparación. (ver tabla 2.1).
- Los métodos generalizados: se basan en esquemas de razonamiento lógico para identificar y evaluar en su totalidad, los riesgos presentes en un determinado proceso tomando como base la relación causa y efecto (ver tabla 2.1).
- Los índices de riesgo: se basa en evaluar los riesgos para asignar penalizaciones y bonificaciones según las características del proceso y señalar las áreas de mayor concentración de riesgo donde se requiere un análisis más profundo o medidas suplementarias de seguridad (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1 Clasificación de las técnicas de análisis de riesgos.

CLASIFICACIÓN DE LAS TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS		
MÉTODOS COMPARATIVOS	MÉTODOS GENERALIZADOS	ÍNDICES DE RIESGO
Listas de Verificación (Checklist)	Análisis de Riesgo y Operabilidad (HazOp)	Índice Dow
Códigos y Normas	Análisis de Consecuencias (AC)	Índice Mond
Análisis Histórico de Accidentes	Análisis de Árbol de Fallas (FTA)	
	Análisis ¿Qué pasa si? (What-if)	
	Análisis de Error Humano	
	Análisis de Modos de Fallas y Efectos (FMEA)	
	Análisis de Árbol de Eventos (ETA)	

Haciendo uso del método apropiado de acuerdo a los requerimientos y alcance que requiera en el estudio de la planta de proceso se podrán analizar diversos aspectos de riesgo, se podrá evaluar su magnitud y su probabilidad y se guiará al grupo de análisis a encontrar sistemáticamente las medidas preventivas o contingentes que eliminen, minimicen o controlen el riesgo.



Todas las técnicas de estudio de seguridad de procesos aplicados oportunamente en el proyecto de una nueva planta, van a influir con alta prioridad en las decisiones más importantes sobre su diseño e instalación:

- Selección de la tecnología (materias primas, equipos, condiciones de proceso, etc.)
- Localización de las áreas de proceso (tomando en cuenta comunidades cercanas, disposición de desechos y efluentes, riesgos de la zona, etc.)
- Distribución de la planta (áreas de tanques de almacenamiento, cuartos de control, separación de áreas peligrosas, etc.)
- Instalación de sistemas de prevención y combate de emergencia (equipo contra incendio, sistemas de alarma, protección contra explosión, protección contra fuga de tóxicos, servicios médicos, etc.)
- Instrumentación (protecciones de seguridad en equipos, instrumentación redundante, confiabilidad de instrumentación, etc.)
- Procedimientos de operación, mantenimiento, emergencia, paro y arranque.

Toda la información obtenida tanto por el personal del proyecto, como el de operación, técnica, mantenimiento y seguridad de la planta, será de enorme utilidad y le dará una profundidad de conocimientos sobre su equipo y procesos que de otra manera sería muy difícil de lograr. Además permitirá preparar óptimos procedimientos de operación, planes de arranque y paro de emergencia, sistemas de entrenamiento, programas de mantenimiento, etc.

De lo anterior, dependerá más adelante y en gran medida la seguridad del proceso.

El análisis de riesgos que se llevará a cabo en el Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparfinadora de Aceites Lubricantes, se hará con el fin de evaluar los riesgos existentes, para poder emitir recomendaciones que minimicen o controlen dichos riesgos, y así mejorar el funcionamiento de la planta.

2.4 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE RIESGOS EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO DE UNA PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES

2.4.1 ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

2.4.1.1 GENERALIDADES

Históricamente, la seguridad de las plantas de proceso estaban relacionadas con la aplicación de códigos, prácticas y experiencias en la industria. La seguridad y confiabilidad de esas plantas podían ser mejoradas por la identificación de eventos que resultaban por fallas de sistemas, errores y omisiones en las intenciones de diseño, etc.

El control y automatización de los procesos en estas plantas, cada vez más sofisticados, reducen el error humano, sin embargo, este incremento de tecnología puede provocar una disminución del conocimiento de los operadores aumentando el riesgo⁽⁶⁾.



Las causas de los accidentes potenciales que han ocurrido en diferentes plantas de proceso y que han provocado cuantiosas pérdidas humanas, materiales y ambientales, pueden evitarse disminuyendo su frecuencia o por lo menos, mitigando sus consecuencias.

Los ingenieros de la Imperial Chemical Industries (ICI) en Gran Bretaña, desarrollaron una técnica de análisis que actualmente conocemos como HazOp, que es la forma abreviada de su nombre original en inglés Hazard and Operability Analysis, el cual identificamos como Análisis de Peligros y Operabilidad.

El método HazOp data de los años 60's siendo un estudio de tipo semicualitativo, en donde participa un grupo multidisciplinario, mediante el cual se realiza el análisis para identificar peligros, evaluar riesgos y problemas de operabilidad en una planta de proceso o sistema de interés, se identifican las consecuencias posibles de desviaciones de las intenciones de diseño, en todas las unidades del proceso.

El método de HazOp permite identificar eventos que potencialmente pueden resultar peligrosos como:

- Envío de materiales peligrosos a la atmósfera.
- Paros indeseados de proceso.
- Disturbios o desviaciones en el proceso.

La técnica requiere de información detallada de diseño y de operación de proceso. El resultado de un análisis HazOp incluye identificación de peligros y evaluación de riesgos, problemas de operabilidad y recomendaciones para reducirlos. A continuación se describen las actividades, objetivos y propósitos del análisis HazOp.

2.4.1.1.1 CAUSAS DE DESVIACIONES

Las razones del por qué se puede presentar una desviación de las variables de un proceso pueden estar relacionadas con:

- Fallas en equipos, accesorios o instrumentos: válvulas, bombas, tubería, empaques, controles, etc.
- Errores humanos: omisión, realizar una modificación en el proceso de la planta no contemplada en las intenciones de diseño (acción inadecuada), etc.
- Fuerzas externas: tormentas, inundaciones, temblores, relámpagos, etc.
- Procesos de estado no anticipados: cambios de composición, formación de hielo, evaporación, etc.

2.4.1.1.2 CONSECUENCIAS DE DESVIACIONES

Las consecuencias de una desviación pueden desencadenar una serie de accidentes (incendios, fugas, explosiones, paros de plantas, etc.) que pongan en riesgo al personal, las instalaciones de la planta de proceso y daños al medio ambiente. Con respecto a las consecuencias de las desviaciones se debe tener presente que:



- Las consecuencias no necesariamente ocurren instantáneamente.
- Las consecuencias pueden estar relacionadas con la misma causa.
- Las consecuencias pueden no ser obvias instantáneamente.
- Algunas desviaciones serán necesarios marcarlas para realizar un estudio más detallado.

2.4.1.1.3 OBJETIVOS DEL ANÁLISIS HAZOP

El análisis HazOp tiene como objetivos los siguientes puntos:

- Identificación de peligros: identificación de características de la planta, sistemas de proceso, equipos o procedimientos que pueden presentar accidentes potenciales.
- Identificación de problemas operativos: Identificación de problemas potenciales de operabilidad, los cuales pueden resultar en fallas de las intenciones de diseño o de productividad. Estos problemas operativos pueden o no ser peligrosos.

2.4.1.1.4 PROPÓSITO DEL ANÁLISIS HAZOP

La finalidad o propósito de realizar un análisis HazOp es:

- Identificar riesgos y determinar su nivel, para establecer las medidas que controlan los riesgos aceptados y reducir el nivel de aquellos que no lo son, con el fin de mejorar la operabilidad de la sección o unidad de proceso.
- Lograr que el personal que participa en las sesiones de análisis HazOp, y que esta involucrado directamente en la operación de dicha sección o unidad de proceso, actúe de manera prepositiva, en todo momento, con plena conciencia de los riesgos que implica la operación (fomento de una cultura de seguridad de procesos).

2.4.1.1.5 CARACTERÍSTICAS DEL ANÁLISIS HAZOP

Dos características fundamentales tiene el HazOp, que lo distinguen de las demás técnicas y lo hacen más completo en cuanto a su metodología y en cuanto a base de información que lo determina:

- **Carácter sistemático:** el análisis esta basado en la aplicación de una serie de **palabras guía** a cada **parámetro** del proceso en estudio, las cuales facilitan la identificación de desviaciones mediante un razonamiento ordenado. Cada vez que una desviación razonable es identificada, se analizan sus causas, consecuencias, salvaguardas y posibles acciones correctivas.
- **Carácter multidisciplinario:** el análisis HazOp es aplicado por un equipo, que debe estar formado por personas de distinta experiencia y formación en las distintas ramas de la ingeniería. Los miembros del equipo exponen las desviaciones, causas, consecuencias y soluciones que se les ocurren, aunque a primera vista parezcan poco razonables o imposibles.



Debido a que el costo de las fallas de plantas y sistemas eran mayores en términos de lesiones o pérdida de vidas, impacto ambiental, destrucción de la propiedad e interrupción del flujo de efectivo, actualmente algunos países, se hace obligatorio dicho análisis HazOp, para demostrar que una planta puede operar de manera segura y que se han instalado salvaguardas adecuadas contra eventos o circunstancias pronosticadas.

2.4.1.1.6 INFORMACIÓN REQUERIDA PARA REALIZAR EL ANÁLISIS HAZOP

Para desarrollar un estudio HazOp se requiere de una descripción completa del proceso y se cuestiona a cada una de las secciones de éste y a cada componente para descubrir que desviaciones del propósito original para el cual fueron diseñadas, pueden ocurrir y determinar cuáles de éstas desviaciones pueden dar lugar a riesgos para el proceso o el personal.

- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) y diagramas de flujo de proceso (DFP's) actualizados.
- Descripción del proceso, manual de operación, cartas de secuencias de control de instrumentos.
- Procedimientos operacionales.
- Balances de materia y energía.
- Capacidades de diseño, materiales de construcción y especificaciones.
- Registros históricos de incidentes.
- Fallas de equipos o componentes.
- Planos de los sistemas contra-incendio y de conexión a tierra.
- Bitácoras de mantenimiento.

El efectuar un estudio de riesgo con información no actualizada es pérdida de tiempo, ya que es importante conocer el funcionamiento actual de la planta a estudiar, para realizar un análisis de riesgo más objetivo y apegado a las necesidades de dicha planta en ese momento.

2.4.1.2 METODOLOGÍA PARA REALIZAR UN ANÁLISIS HAZOP

2.4.1.2.1 FORMACIÓN DE UN EQUIPO MULTIDISCIPLINARIO PARA REALIZAR EL ANÁLISIS HAZOP

Para el desarrollo del análisis se requiere como primer paso la formación de un equipo multidisciplinario formado por los siguientes ingenieros:

- Ingeniero de operación.
- Ingeniero de procesos.
- Ingeniero de proyectos.
- Ingeniero de instrumentos.
- Ingeniero de mantenimiento.
- Ingeniero de seguridad.



Además, se requiere de personal con experiencia en la aplicación del análisis HazOp el cual deberá actuar como facilitador o guía del equipo, su objetivo primordial consiste en actuar de mediador, asegurándose de que se aplica adecuadamente la técnica, sin descuidar ningún detalle y estimular la participación entre los miembros del equipo formado, además se requiere de un secretario cuya función es ir escribiendo las proposiciones y recomendaciones que surjan del análisis HazOp.

2.4.1.2.2 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO DE ANÁLISIS HAZOP

Una vez cubierto el punto anterior se desarrolla la metodología descrita en la tabla 2.2, donde se establecen los pasos que se siguen para realizar un análisis HazOp.

En la figura 2.1 se describe con un esquema de flujo la metodología que se sigue para el estudio de un nodo, cabe destacar que esta metodología se aplica a cada uno de los nodos en que se divide nuestro análisis HazOp.

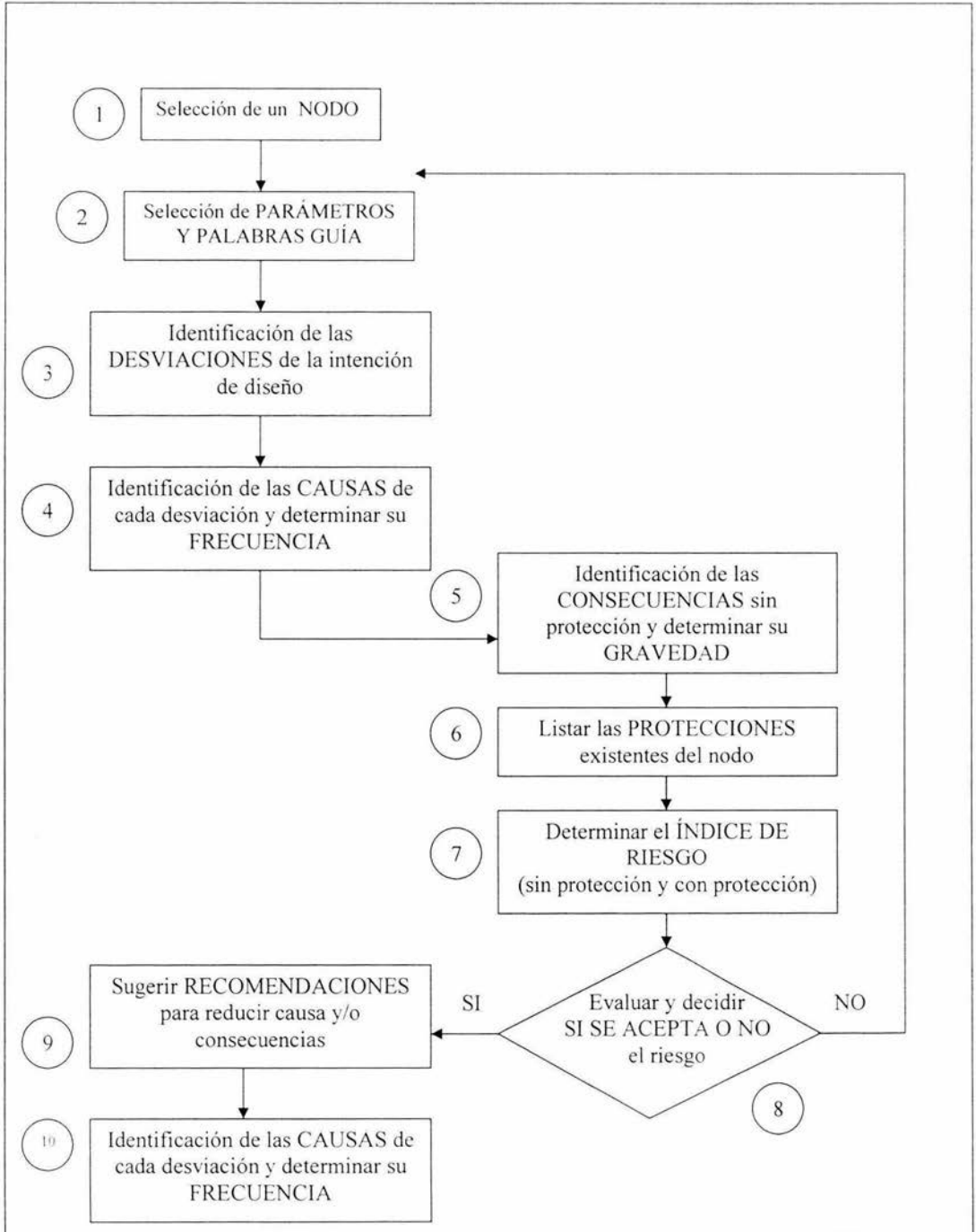
La definición de la terminología utilizada tanto en la tabla 2.2 y en la figura 2.1 se encuentra en el apéndice C.

Tabla 2.2 Metodología HazOp.

DESCRIPCIÓN	
1	Determinar el nodo dentro del circuito que se ha seleccionado para el estudio HazOp y explicar sus intenciones de diseño.
2	Seleccionar los parámetros importantes del proceso con una palabra guía .
3	Identificar posibles desviaciones con la combinación de parámetros y palabras guía.
4	Identificar la causa que afecta la intención de diseño y determinar su frecuencia.
5	Identificar las consecuencias sin protecciones y determinar su gravedad.
6	Listar todas las protecciones existentes del nodo.
7	Determinar el índice de riesgo sin protecciones y con protecciones usando la matriz de índice de riesgo.
8	Verificar, evaluar y decidir si se acepta o no se acepta el riesgo .
9	Sugerir recomendaciones y enlistarlas para asignarles una clase y jerarquizarlas, con la matriz de clase de riesgo para reducir las frecuencias de las causas y/o la gravedad de las consecuencias.
10	Elaborar un plan de trabajo basándose en la lista de recomendaciones para efectuar las medidas correctivas para mitigar el riesgo.



Figura 2.1. Diagrama de flujo de la metodología HazOp⁽²⁾





La **palabra guía** se define como aquella palabra que indica la desviación parcial o total de la variable de diseño. En la tabla 2.3 se describen las palabras guías utilizadas en el análisis HazOp.

Tabla 2.3 Palabras guía.

PALABRAS GUÍA	SIGNIFICADO
NO	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño. Ejemplo: No hay flujo en la línea.
MÁS	Aumento cuantitativo sobre la variable de diseño. Ejemplo: Más temperatura (mayor a la de operación), mayor velocidad de reacción, mayor presión, etc.
MENOS	Disminución cuantitativa sobre la variable de diseño o las condiciones normales de operación. Ejemplo: Menos temperatura (menor de operación), menor presión (menor a la de operación), etc.
ADEMÁS DE / TAMBIÉN COMO	Aumento cuantitativo. Si se modifican las variables de diseño y ocurre algo más. Ejemplo: el vapor consigue calentar el reactor, pero además provoca un aumento de temperatura en otros elementos.
PARTE DE	Disminución cualitativa. Solo parte de los hechos transcurren según la intención de diseño. Ejemplo: la composición del sistema es menor de la prevista.
INVERSIÓN	Se obtiene el efecto contrario al deseado. Ejemplo: el flujo transcurre en sentido inverso, se da la reacción inversa, etc.
EN VEZ DE / OTRO QUE	No se obtiene el efecto deseado, en su lugar ocurre algo totalmente distinto. Ejemplo: cambio de catalizador, cambio en las condiciones de operación de la unidad, etc.

Una matriz de desviación es aquella que resulta de la combinación de la palabra guía con un parámetro, esto es, si se utilizara la palabra guía no y el parámetro flujo el resultado sería NO FLUJO. Las tablas 2.4 y 2.5 describen los tipos de matrices resultantes de las combinaciones antes descritas.



Tabla 2.4. Matriz de desviaciones generalizada.

PARÁMETRO		PALABRA GUÍA					
Palabra Guía + Parámetro	no	inverso	más	menos	parte de	también como	otro que
Flujo	No flujo	Retroceso	Más flujo	Menos flujo	Composición	Contaminación	Materiales equivocados
Presión	Vacio		Más presión	Menos presión		Golpe de ariete	
Temperatura			Alta temperatura	Baja temperatura	Gradiente	Oxidación/ fragilización	
Viscosidad			Alta viscosidad	Baja viscosidad	Cambio de fase		
Nivel	Vacio			Nivel bajo			
Mezcla	No mezcla			Mezcla pobre		Espuma	



Tabla 2.5. Matriz de desviaciones generalizada (otras combinaciones)

PARÁMETRO		PALABRA GUÍA					
Palabra Guía + Parámetro	no	inverso	más	menos	parte de	también como	Otro que
Reacción	No reacción	Reacción inversa	Reacción descontrolada	Reacción incompleta	Reacción secundaria	Cambio de fase	Reacción equivocada
Operación	Falla de servicio		Descollamiento	Espera	Arranque/ paro	Mantenimiento	Muestreo
Secuencia	Omitido	Paso hacia atrás	Paso anticipado	Paso retrazado	Parte del paso	Acción extra incluida	Acción equivocada
Relevo	Inadecuado				Dos fases	Efecto Joule Thompson/ Enfriamiento	
Aterrizamiento	Fuentes de ignición						
Instrumentación	Falla de instrumentos		Confiable			Alarmas	Paro de emergencia
Contenedor	Ruptura					Seguridad	Ambiente
Estructura	Falla de soporte					A prueba de fuego	

Las sesiones que se realizan durante el análisis de riesgos HazOp se registran en un formato como el descrito en la fig. 2.2 , para llevar acabo un control detallado del avance que se tiene y recomendaciones que surgen del equipo multidisciplinario al estar realizando el análisis.

Figura 2.2 Hoja de registro de sesiones “HazOp”.

	Compañía:	Área/proceso				Fecha:	
	Nodo:						
	Diagramas:	Producto:					
Desviación:							
Causas	Consecuencias	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase

Donde:

- F: Frecuencia.
- G: Gravedad.
- R: Riesgo.

2.4.1.2.3 TIPOS DE MATRICES DE RIESGOS

El índice/número o nivel de riesgo nos permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad o no del riesgo, para posteriormente asignar prioridades a las estrategias recomendadas para mitigar el riesgo. La jerarquización del riesgo (entendiendo como jerarquizar el de mayor probabilidad o mayor prioridad), se establece mediante la combinación de frecuencia (probabilidad) con que ocurre la causa que da lugar a la desviación del sistema, con la gravedad de las consecuencias del accidente/incidente. Esta combinación origina una matriz de frecuencia contra gravedad, la cual denominamos matriz de índice de riesgo.

Son varias las matrices de índice de riesgos que podemos encontrar en la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgo, esto es en función de las bases con que definan sus prioridades los analistas de riesgos o como lo requieran las compañías a las que se les trabaje.

2.4.1.2.4. MATRIZ DE CLASE DE RIESGO

La matriz de clase de riesgo clasifica los índices de riesgo de las recomendaciones para asignar la prioridad con la que se debe realizar las acciones preventivas o mitigadoras, mismas que posteriormente se plasman en plan de trabajo. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones implementadas deberá usar como base la matriz de



índice de riesgo que combina la frecuencia de ocurrencia de un accidente y la gravedad de las consecuencias del mismo.

Como son varias las matrices de Índice de riesgos que podemos encontrar en la literatura y cada compañía que hace estudios de riesgos usa su propia matriz de riesgos, también son varias las respectivas matrices de clase de riesgo.

2.4.1.2.5 DIFERENCIA ENTRE LAS MATRICES DE ÍNDICE Y DE CLASE DE RIESGO

La matriz de índice de riesgo encuentra el índice de riesgo (con número) en función de la frecuencia y gravedad de la causa y consecuencia del accidente probable, y la matriz de clase de riesgo, encuentra la prioridad (con letra) con que se deben aplicar las recomendaciones que se proponen para mitigar el riesgo en función del índice de riesgo (tabla 2.6).

Tabla 2.6 Gravedad-frecuencia.

	GRAVEDAD		GRAVEDAD
F	<p>ÍNDICE DE RIESGOS</p> <p>(NÚMEROS)</p>	F	<p>CLASE DE RECOMENDACIÓN</p> <p>(LETRAS)</p>
R		R	
E		E	
C		C	
U		U	
E		E	
N		N	
C		C	
I		I	
A		A	

2.4.2 ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

La técnica del Árbol de Fallas (FTA por sus siglas en inglés, Fault Tree Analysis) fue desarrollada en 1962 con su primera aplicación a la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman en Estados Unidos. Posteriormente ha sido aplicada con gran frecuencia en la industria sobre todo en el campo nuclear y posteriormente en el campo químico. Los Análisis de Árboles de Fallas constituyen una técnica ampliamente utilizada en los análisis de riesgos debido a que proporcionan resultados cualitativos y cuantitativos.

El Árbol de Fallas es un modelo gráfico que ilustra las combinaciones de falla que puede causar una falla específica de interés, llamada “**evento culminante o tope**”.

Está técnica consiste en un proceso deductivo empleando las reglas del álgebra de Boole, para determinar la expresión de los sucesos estudiados en función de las fallas básicas de los elementos que intervienen en él y calcular su probabilidad.



A continuación se citan algunas de las reglas *Booleanas* de uso frecuente en la evaluación de Árboles de Fallas:

Tabla 2.7 *Propiedades del álgebra booleana.*

Propiedad	Puerta "O"	Puerta "Y"
Conmutativa	$A+B=B+A$	$A \bullet B=B \bullet A$
Asociativa	$A+(B+C)=(A+B)+C$	$A \bullet (B \bullet C)=(A \bullet B) \bullet C$
Distributiva	$A+(B \bullet C)=(A+B) \bullet (A+C)$	$A \bullet (B+C)=(A \bullet B)+(A \bullet C)$
Identidad	$A+A=A$	$A \bullet A=A$
Absorción	$A+(A \bullet B)=A$	$A \bullet (A+B)=A$
Otras	$A+A^*=1$ $0+A=A$ $1+A=1$	$A \bullet A^n=0$ $0 \bullet A=0$ $1 \bullet A=A$ $((A)^n)^n=A$

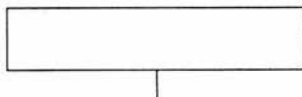
El Árbol de Fallas genera una lista de combinaciones de fallas, estas combinaciones, son conocidas como "conjuntos mínimos". Un **conjunto mínimo** es la asociación más pequeña de componentes de falla que, si todos ocurren o existen simultáneamente, causarán que el evento culminante se realice. Es así como una lista de conjuntos mínimos representa las formas conocidas en las que un accidente puede ocurrir, formulado en términos de fallas de equipos, errores humanos y circunstancias asociadas.

El análisis se inicia con un accidente o evento indeseable (evento culminante) que debe ser evitado, identificando las causas inmediatas del evento. Cada una de las causas inmediatas (llamadas eventos de falla) más adelante son examinados de la misma manera hasta que el análisis tenga identificado las causas básicas de cada evento de falla o alcance los límites establecidos para el análisis.

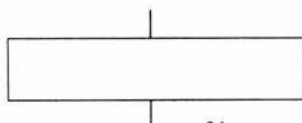
Los resultados del Análisis de Árbol de Fallas despliega como resultado la relación lógica entre eventos básicos y eventos culminantes seleccionados.

2.4.2.1 ELEMENTOS DEL ÁRBOL DE FALLAS (FTA)

EVENTO CULMINANTE O TOPE: ocupa la parte superior de la estructura lógica que representa el Árbol de Fallas. Es el suceso complejo no deseado del cual se desconoce la probabilidad de falla.



EVENTOS INTERMEDIOS: son los sucesos intermedios que son encontrados en el proceso de descomposición y que a su vez pueden ser de nuevo descompuestos. Se representan en el Árbol de Fallas en rectángulos al igual que el evento culminante.

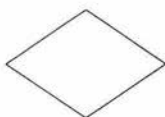




EVENTOS BÁSICOS: son los sucesos básicos de la descomposición. Tienen asociada una probabilidad de ocurrencia determinada y pueden representar cualquier tipo de suceso de los que se han citado con anterioridad: sucesos de "fallas" como por ejemplo: falla de un componente (equipo, instrumentos, etc.), error humano, entre otros. Se representan en círculos en la estructura del Árbol de Fallas.



EVENTOS NO DESARROLLADOS: no son sucesos básicos, y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario o no se dispone de la suficiente información. Tienen asociada una probabilidad de ocurrencia determinada.








En el proceso de descomposición del Árbol de Fallas se recurre a una serie de *puertas lógicas* que representan los operadores del álgebra de sucesos descritos. Los dos tipos más elementales corresponden a las puertas "Y" y "O" cuyos símbolos se indican a continuación.








- La puerta "O" se utiliza para indicar un "O" lógico: significa que la salida lógicas ocurrirá siempre y cuando ocurran por lo menos una de las dos entradas lógicas e_1 o e_2 .
- La puerta "Y" se utiliza para indicar un "Y" lógico. Para que ocurra la salida lógicas es necesario que ocurran conjuntamente las dos entradas lógicas e_1 y e_2 . Se suelen numerar las puertas del árbol para facilitar su identificación.

En la tabla 2.8, se presenta un extracto del *fault tree handbook*, 1987, en el se indican otros tipos de puertas lógicas (menos utilizados) y su simbología.



Tabla 2. 8 Otra simbología del árbol de fallos que se puede utilizar

	SUCESO BÁSICO: SUCESO QUE NO REQUIERE DESARROLLO POSTERIOR
	SUCESO DE CONDICIÓN: CONDICIÓN ESPECÍFICA O RESTRICCIÓN QUE SE APLICA A CUALQUIER PUERTA LÓGICA.
	SUCESO NO DESARROLLADO: UN SUCESO NO SE DESARROLLA PORQUE SUS CONSECUENCIAS SON DESPRECIABLES O PORQUE NO HAY INFORMACIÓN SUFICIENTE.
	SUCESO EXTERNO: UN SUCESO QUE NORMALMENTE OCURRIRÁ
	SUCESO INTERMEDIO: UN SUCESO DE FALLA QUE OCURRE PORQUE UNA O MÁS CAUSAS ANTERIORES OCURREN A TRAVÉS DE UNAS PUERTAS LÓGICAS

PUERTAS LÓGICAS

	EL SUCESO DE FALLA DE SALIDA OCURRE SI LAS ENTRADAS SE PRODUCEN
	EL SUCESO DE FALLA DE SALIDA OCURRE SI AL MENOS UNA DE LAS ENTRADAS SE PRODUCE.
	EL SUCESO DE FALLA DE SALIDA OCURRE SI OCURRE EXACTAMENTE UNA DE LAS ENTRADAS
	Y PRIORITARIO: EL SUCESO DE FALLA DE SALIDA OCURRE SI TODAS LAS ENTRADAS SE PRODUCEN EN UNA DETERMINADA SECUENCIA (REPRESENTADA POR EL SUCESO CONDICIÓN DIBUJADO A LA DERECHA DE LA PUERTA LÓGICA)
	INHIBICIÓN: EL SUCESO DE FALLA DE SALIDA OCURRE SI LA ENTRADA OCURRE EN EL CASO EN QUE PRODUZCA UNA CONDICIÓN (REPRESENTADA POR EL SUCESO CONDICIÓN DIBUJADO A LA DERECHA DE LA PUERTA LÓGICA)

TRANSFERENCIA: SE UTILIZAN CUANDO EL DIAGRAMA SE TIENE QUE DIVIDIR

	TRANSFERENCIA DE ENTRADA: INDICA QUE EL ÁRBOL DE FALLAS SE DESARROLLA POSTERIORMENTE DONDE APARECE EL SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA DE ENTRADA
	TRANSFERENCIA DE SALIDA: INDICA QUE ESTA POSICIÓN DEL ÁRBOL DEBE RELACIONARSE CON EL SÍMBOLO DE TRANSFERENCIA DE ENTRADA.



2.4.2.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL ÁRBOL DE FALLAS

Mediante los diagramas lógicos se describen y analizan las causas o eventos básicos, el evento cumbre y todos los demás eventos intermedios potencialmente peligrosos.

Algunas de sus ventajas son:

- Define varias rutas que conducen al evento culminante.
- Cuantifica la probabilidad de llegar a los eventos culminantes.
- Genera información objetiva para la toma de decisiones.
- Analiza combinaciones de eventos.
- Analiza los errores humanos.
- Permite comparar los índices de pérdida de los procesos modificados y no modificados.

Algunas de sus desventajas son:

- No es fácilmente comprensible por el lector por la complejidad del método.
- Se enfoca en eventos y no a los procesos.
- Además pueden tornarse difíciles de manejar porque en ocasiones son muy complejos.

2.4.2.3 ELABORACIÓN DEL ÁRBOL DE FALLAS

El propósito del Árbol de Fallas es la identificación de la línea de fallas tanto mecánicas como humanas que pueden ocasionar un accidente. Este análisis se puede aplicar durante el diseño, modificación u operación de la planta de proceso, especialmente en procesos en los cuales hay una metodología de operación.

Normalmente se asigna a una o más personas con conocimiento de la planta la cual prepara un Árbol de Falla sencillo para un accidente dado.

Se deben integrar todos los conocimientos sobre el funcionamiento y operación de la instalación con respecto al suceso estudiado.

El primer paso consiste en identificar el suceso o evento no deseado o evento culminante que ocupará la cúspide de la estructura gráfica representativa del árbol. De la definición clara y precisa del evento culminante depende todo el desarrollo del árbol. Se establecen de forma sistemática todas las causas inmediatas que contribuyen a su ocurrencia, definiendo así los sucesos intermedios unidos a través de las puertas lógicas. El proceso de descomposición de un suceso intermedio se repite sucesivas veces hasta llegar a los sucesos básicos o componentes del árbol.

El resultado es uno o varios diagramas lógicos que ilustran las combinaciones de fallas y/o errores que pueden resultar de accidentes específicos. Estos resultados son cualitativos y pueden también ser cuantitativos bajo ciertas circunstancias.

La información que se requieren para realizar un Árbol de Fallas es la siguiente:



- Diagramas de tubería e instrumentación.
- Especificaciones y dibujos de los equipos.
- Procedimientos de operación y manuales.
- Conocimientos de modos de falla.

Algunos ejemplos de eventos indeseables son:

- Explosiones.
- Fugas de gases tóxicos.
- Derrames de productos peligrosos.
- Golpe de ariete.
- Bloqueo de una válvula.

2.4.3 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC)

El Análisis de Consecuencias (AC) es una técnica que sirve para identificar condiciones y las posibles formas de progresión de eventos que involucran sustancias peligrosas y así poder cuantificar tanto la magnitud como el alcance de sus efectos sobre las personas, el equipo, planta, instalaciones y el ambiente. Los efectos evaluados son aquellos que se derivan de la toxicidad de las sustancias, de los problemas de sobrepresión y de los altos niveles de radiación térmica producidos por la combustión de materiales inflamables.

2.4.3.1 PASOS PARA DESARROLLAR UN AC

Un AC se puede desarrollar a través de seis etapas:

1. La selección de eventos indeseables que se desean analizar.
2. La determinación de la mecánica de liberación o de explosión del material (tóxico, inflamable o explosivo).
3. La determinación de la dispersión del material.
4. La cuantificación de las consecuencias sobre el entorno.
5. La formulación de las recomendaciones.

Hay que tener en cuenta que en un accidente pueden encontrarse simultáneamente los efectos de incendio, explosión, etc. Así mismo, pueden ocurrir una serie de accidentes en cadena (efecto dominó por ejemplo), por ello la magnitud de las consecuencias de un determinado accidente dependerá de una serie de factores (inventario, energía contenida en el sistema, tiempo que dura el accidente, grado de explosión, etc.) que deberán ser contemplados en el análisis de riesgos.

2.4.3.2 MODELOS DE CÁLCULO PARA UN AC

Mediante modelos de cálculo podemos determinar las consecuencias de los siguientes escenarios potenciales de accidentes:

a. Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico:

1. Índice de charco (POOL FIRE).
2. Llamada (FLASH FIRE).



3. Dardo de fuego (JET FIRE).
4. Bola de fuego (FIRE BALL).

b. Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico:

1. Explosión de nube inflamable no confinada (UVCE).
2. Explosión confinada de vapores (CVE).
3. Estallido de recipiente a presión.
4. Explosión de vapor en expansión de un líquido en ebullición (BLEVE).

c. Escenarios que determinan fenómenos peligrosos asociados a la concentración de la sustancia emitida en el ambiente (de tipo térmico para sustancias inflamables y de tipo químico para sustancias tóxicas):

1. Chorro turbulento (JET).
2. Dispersión instantánea (bocanada).
3. Dispersión continua (emisión prolongada en el tiempo).
4. Dispersión transitoria (emisión limitada en el tiempo, a menudo variable).
5. Dispersión neutra o gaussiana (dispersión de gases o vapores con densidad similar al aire).
6. Dispersión de gases pesados (la gravedad influenciada de manera destacada en la evolución de la nube en los primeros momentos del accidente).

Una vez conocidos los efectos del accidente (radiación, onda de presión, etc.) hay que establecer cuales serán las consecuencias sobre la población, las instalaciones y el medio ambiente.

Las consecuencias sobre la población pueden tener características diversas que se pueden clasificar en:

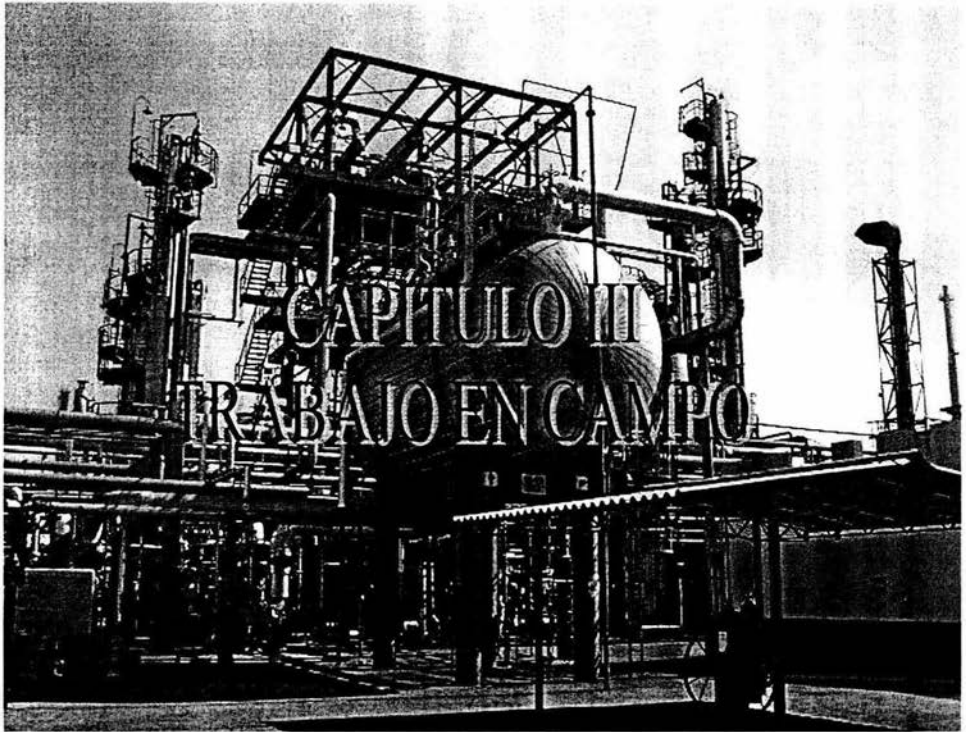
Radiación térmica: quemaduras de diversa gravedad, por ejemplo muerte por quemaduras.

Onda de choque: los daños pueden ser de dos tipos producto de una sobrepresión.

- a) Daños directos:
 - Ruptura de tímpano.
 - Aplastamiento de la caja torácica.
- b) Daños indirectos:
 - Por desplazamiento del cuerpo.
 - Por impacto de fragmentos contra el cuerpo.
 - Por heridas ocasionadas por astillas de vidrio, metales, etc.

Las consecuencias sobre el equipo pueden deducirse de valores tabulados (caso de las ondas de choque) o determinados modelos semiempíricos (caso de radiación térmica).

Finalmente, las consecuencias sobre el entorno, que en algunos casos pueden aparecer a medio o largo plazo, hay que estimarlas con otros modelos de análisis de riesgos.





3.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Lo importante de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes es la separación de las parafinas de los aceites de lubricación proveniente de la Planta Hidrogenadora. Esta separación se realiza con la finalidad de aumentar el valor económico en el mercado de los aceites lubricantes, ya que las parafinas son un subproducto que disminuye la calidad de los aceites.

Para explicar el proceso químico o modo de operación nos apoyaremos en los diagramas de flujo de proceso (DFP) tabla 3.1.

Tabla 3.1 Diagramas de apoyo para la descripción de proceso de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes y análisis HazOp del Sistema de Enfriamiento con Propano.

NUM. DIAG.	NOMBRE
DFP-U5-01	Diagrama de flujo de proceso, todos los casos
DFP-U5-02	Diagrama de flujo de proceso, todos los casos
DFP-U5-03	Diagrama de flujo de proceso, sección de recuperación de solvente.
DFP-U5-04	Diagrama de flujo de proceso, sección de recuperación de solvente.
DFP-U5-05	Diagrama de flujo de proceso, Sistema de Refrigeración con Propano.

3.1.1 GENERALIDADES DE LA DESPARAFINACIÓN

La desparafinación de los aceites lubricantes se efectúa enfriando a bajas temperaturas la mezcla de aceite y solvente, con lo cual se forman cristales de parafina que posteriormente se separan en los filtros a vacío.

El solvente que se utiliza en este proceso es una mezcla de 45-50% MEK (metil-etil-cetona) y 55-50% de tolueno y el aceite es una mezcla de varios tipos de aceites que se observa en la tabla 3.2 y parafinas.

Tabla 3.2 Temperaturas de filtración.

ACEITE	TEMPERATURA EN °C
Tecnol 90	-23
Neutro Ligero 95	-24
Neutro Pesado 95	-23
Pesado 95	-18



Las parafinas son completamente insolubles en el MEK y el aceite se disuelve totalmente en el tolueno. La mezcla de solvente tiene una viscosidad muy baja, de tal manera que las mezclas resultantes del solvente con el aceite parafinoso son poco viscosas que facilitan el manejo, aun cuando se enfrían para la precipitación de los cristales de parafina. El punto de ebullición de los componentes del solvente es mucho más bajo que el del aceite y la parafina, por lo tanto, la recuperación de solvente se facilita en una destilación posterior.

La carga de aceite parafinoso viene de tanques del límite de batería de la planta Hidrogenadora y es enviada con la bomba 5G-1 al calentador 5E-1.

El solvente se mezcla con la carga parafinosa y pasa a través del calentador 5E-1 a la succión de la bomba de alta presión 5G-57, la cual manda la carga a los pre-enfriadores de tubos concéntricos con el fin de enfriar la carga antes de pasar por los tres bancos de intercambiadores en paralelo:

- Banco “A” Intercambiadores 5E-3, 5E-4, 5E-5 (en serie).
- Banco “B” Intercambiadores 5E-8, 5E-9, 5E-10 (en serie).
- Banco “C” Intercambiadores 5E-13, 5E-14, 5E-15 (en serie).

En estos bancos la carga parafinosa intercambia calor contra el aceite desparafinado proveniente del acumulador de filtrados primarios 5C-9 con un flujo en contra corriente.

Los siguientes intercambiadores son tres bancos en paralelo para enfriar la carga contra propano 5E-6 y 7, 5E-11, 5E-12, 5E-16 y 5E-17.

- Banco “D” Intercambiadores 5E-6, 5E-7 (en serie).
- Banco “E” Intercambiadores 5E-11, 5E-12 (en serie).
- Banco “F” Intercambiadores 5E-16, 5E-17 (en serie).

La carga parafinosa en los equipos anteriores se enfría a la temperatura de filtración de acuerdo al tipo de aceite utilizado (Tabla 3.2.); existe un relevo para cada par de enfriadores. El solvente de diluciones intermedias se puede inyectar en cuatro puntos, en cada banco de enfriadores.

Existen tres intercambiadores 5E-2A/B/C situados entre la bomba 5G-57 y los pre-enfriadores. Estos intercambiadores se utilizan únicamente cuando se desparafinan aceites pesados ya que el intercambio es menor debido a que su densidad es más alta. En estos casos puede tolerar un enfriamiento considerable antes de los enfriadores. Esto no se puede aplicar para los casos de aceites ligeros ya que su pérdida de calor sería mayor, los cambiadores 5E-2A/B/C se ponen fuera de operación.

La carga después de enfriar se pasa al tanque acumulador 5C-1 para posteriormente alimentar a los filtros primarios 5T-1 al 5T-6.



En la sección de filtración hay 6 filtros rotatorios a vacío. El tambor de cada filtro tiene una superficie de 65 m². La mezcla de carga parafinosa y solvente fluye por gravedad a los filtros desde el acumulador 5C-1. El nivel en cada filtro se mantiene mediante un control de nivel. En cada filtro existe un sistema de balance con gas inerte para mantener el vacío y una línea de gas inerte de soplado que sirve para ayudar a desprender la torta de parafina de la lona del filtro.

El aceite desparafinado y el lavado primario o lavado "A" están separados por medio de una mampara en el acumulador 5C-9. El lavado "A" se utiliza como primera dilución a la carga de aceite parafinoso mientras que el aceite se envía a la sección de recuperación.

La torta de parafina, que es la parafina que se incrusta en la lona del filtro, se desprende y cae al gusano donde se le está inyectando parafina primaria caliente de recirculación o filtrado "C" del acumulador 5D-9.

El filtrado primario se recolecta en el acumulador 5C-9. De este acumulador el filtrado, que es una solución de solvente y aceite sin cristales de parafina se bombea a la sección de recuperación a través de los intercambiadores de tubos concéntricos. El lavado "A" se usa como dilución final de los filtros primarios para los aceites de la Unidad No. 1. En los aceites pesados el lavado "A" se utiliza como dilución inicial.

3.1.1.1 FRACCIONAMIENTO DE PARAFINA PRIMARIA

La parafina primaria se calienta para redissolver la parafina de bajo punto de fusión y la parafina de alto punto de fusión quede cristalizada, esto se logra intercambiando calor primero contra solvente fresco en los 5E-18 y posteriormente calentándose en el 5E-19 con vapor de baja presión. La temperatura de la solución se eleva a 49 °C para los aceites ligeros, y hasta 71 °C para los aceites pesados. La mezcla de parafinas primarias se envía al tanque de olas de mezclado 5D-9.

La solución de parafina primaria caliente pasa a la succión de la bomba 5G-3 la cual envía la mezcla de parafina al tanque acumulador 5C-3, después de que pasa a través del enfriador 5E-32 el cual se utiliza para bajar la temperatura de parafina primaria de los aceites pesados que tienen de 60 – 71° C hasta 49 °C. La parafina primaria pasa posteriormente por los bancos de los intercambiadores 5E-20/21/23, el intercambio de calor es contra parafina suave, esta pasa después a dos enfriadores en paralelo con propano 5E-24/31. El filtrado "C", calentado a 49 °C, se puede agregar antes de los intercambiadores 5E-32/33.

La solución de parafina es enfriada nuevamente hasta una temperatura arriba de la temperatura de la primera filtración (tabla 3.3). A esta temperatura una porción de la parafina permanece en solución mientras que la parafina de alto punto de fusión (parafina suave) permanece cristalizada, lo que permite la separación de estas parafinas al filtrarlas con los filtros al vacío 5T-7/8/9.



El filtrado se recibe en el acumulador 5C-16. Parte de este filtrado se recircula a la alimentación de los filtros y el resto se manda a la sección de recuperación vía los intercambiadores 5E-20, 21 y 23. En la tabla 3.3 se muestran las temperaturas a las que entran las diferentes mezclas de aceites-parafina que se manejan en la Planta Desparafinadora.

Tabla 3.3 Temperaturas de filtración de fraccionamiento.

ACEITE	TEMPERATURA EN °C
Tecnol 90	-9
Neutro Ligero 95	-9
Neutro 95	-9
Neutro Pesado 95	+2
Pesado 95	+13

La mezcla de parafina en solución recibe un tratamiento posterior para eliminar pequeñas cantidades de aceite y parafina suave. Esta pasa a la succión de la bomba 5G-4 la cual envía la solución al acumulador del 5C-4, después de intercambiar calor por los cambiadores 5E-24/31, esta mezcla de parafina de bajo punto de fusión (parafina dura) es alimentada a 3 filtros al vacío de 65 m², la cual envía con la bomba 5G-5 al acumulador de olas 5D-5 y posteriormente pasa a la succión de la bomba 5G-6 para ser enviada a la sección de recuperación.

3.1.1.2. DESACEITADO O REPASO DE LA PARAFINA.

La torta de parafina formada en los filtros de fraccionamiento se lava con solvente tibio. La parafina obtenida en los filtros de repaso 5T-4 a 5T-6 es bombeada a través de dos enfriadores 5E-24 y 31 en paralelo. La dilución de estos enfriadores se hace con filtrado "C" a los cuerpos y antes de llegar al 5C-4.

El producto de estos filtros de repaso se recibe en el 5C-21. Este solvente tiene un contenido muy bajo de aceite y se utiliza como diluyente en varios puntos.

- Dilución inicial a la carga parafinosa.
- Dilución a la parafina primaria.
- Inyección a los enfriadores de parafina primaria.
- Inyección a los enfriadores de parafina dura.
- Recirculación a la alimentación de los filtros de repaso.

La torta de parafina en los filtros de repaso se calienta de 25° a 30° C con recirculación de parafina dura. Esta parafina se calienta en el 5E-35 a 50° C y se utiliza para la recirculación, y el resto se bombea a la sección de recuperación a través del acumulador 5D-5.

En la tabla 3.4 se muestran las temperaturas a las que entra las diferentes mezclas de aceite-parafina-solvente a los filtros de repaso.

**Tabla 3.4 Temperaturas de filtración en los filtros de repaso.**

ACEITE	TEMPERATURA EN °C
Tecnol 90	-7
Neutro Ligero 95	-7
Neutro 95	-4
Neutro Pesado 95	+4
Pesado 95	+13

3.1.1.3 LAVADO DE FILTROS

Periódicamente es necesario sacar de operación los filtros y lavarlos con solvente caliente. El objeto del lavado es quitar de la lona los cristales de hielo y parafina que tapan los poros de la lona. La experiencia indica que los filtros "A" deben lavarse cada 4 hr. en las corrientes de aceites pesados y cada 8 hr. para los filtros de fraccionamiento y repaso.

Durante la operación de lavado, se suspende la alimentación al filtro que va ser lavado y se cierra el sistema de vacío. El solvente de lavado se calienta entre 80 y 82 °C en el calentador 5E-60.

El tambor del filtro sigue girando y bañado con el solvente caliente que sale por las regaderas. El solvente caliente se drena por gravedad de los filtros al resumidero o drenaje subterráneo de lavados tibios 5C-27, de donde se bombea a la línea de carga como primera dilución.

3.1.1.4 RECUPERACIÓN DEL SOLVENTE

En la sección de recuperación se separa el solvente del aceite, la parafina suave y la parafina dura para mandar estos productos a sus tanques de control.

El solvente se recupera en un sistema de dos pasos de evaporación (baja y alta presión), las trazas de solvente que aún pudieran quedar después de este tratamiento se eliminan con vapor en el agotador 5C-24.

El calor para separar el solvente se suministra por cambios de calor con el solvente que se vaporiza contra gasóleo caliente del calentador 5F-1. El agua se quita del solvente húmedo en el secador de solvente 5C-42 para ser reutilizado.

3.1.1.5 RECUPERACIÓN DE ACEITE DESPARAFINADO

El aceite desparafinado de los filtros primarios se recibe en el acumulador 5D-11, en el cual la temperatura se mantiene de 30 a 60 °C.

La mezcla de aceite – solvente pasa a la succión de la bomba 5G-10 que envía la carga con control de flujo, a la torre 5C-11, que opera a 1.2 kg/cm² absolutos.



La carga es precalentada a 100 °C por intercambiar calor contra los vapores de la torre atmosférica (5C-11), torre baja presión (5C-13) y torre de alta presión (5C-12) en los enfriadores 5E-45/47 respectivamente. Además de intercambiar calor con el aceite desparafinado proveniente de la torre de secado 5C-15, en el enfriador 5E-57.

Los fondos de la torre 5C-11 se bombean con la 5G-11 hacia el intercambiador contra gasóleo caliente en 5E-48, donde alcanza una temperatura de 244 °C antes de entrar a la torre de alta presión 5C-12. El domo de la torre se mantiene a 145 °C con el reflujo del solvente seco a 38 °C de la salida del 5E-51. El solvente se recibe en el compartimiento del 5C-51.

Los fondos de la torre 5C-12 a 235 °C se transfieren, con control de nivel, a la torre de baja presión 5C-13. Esta torre trabaja a una presión absoluta de 1.2 kg/cm². La temperatura de 103° C en el domo se mantiene con el reflujo de solvente seco a 38 °C.

Los vapores de la torre 5C-13 se juntan con los vapores de la torre 5C-11 antes del condensador 5E-45.

Las últimas trazas de solvente en el aceite se eliminan en el agotador 5C-14. Esta torre tiene 18 platos y la alimentación de aceite es en el plato 15. La inyección de vapor es de 17.5 kg/cm² para agotamiento y se hace por debajo del primer plato.

Se usa solvente seco para mantener la temperatura de 104 °C en el domo. Antes de ir a tanques el aceite pasa por el secador de aceite 5C-15, donde se alimentan las trazas de humedad por vacío.

El solvente utilizado para los reflujos de las torres es el obtenido de la condensación de los vapores de la torre, el solvente que no se utiliza para el reflujo en las torres se envía al acumulador 5D-8.

3.1.1.6 RECUPERACIÓN DE SOLVENTE DEL CIRCUITO DE PARAFINA DURA

La parafina dura de los filtros de repaso (5T-10/11/12) va al acumulador 5D-5, con el fin de procesar aceites pesados, las temperaturas en este acumulador es de 35 °C y para aceites ligeros 21° C.

La parafina dura pasa a la succión de la bomba 5G-6 que envía la carga a la torre 5C-6 (torre atmosférica), a través de los cambiadores 5E-37 donde se calienta a 81 °C con vapores de la torre 5C-6 después pasa al 5E-38 donde cambia calor contra vapores de la torre de alta presión para alcanzar una temperatura de 100 °C.

La torre 5C-6 trabaja a una presión absoluta de 1.2 kg/cm² y con un reflujo (recirculación) de solvente seco. Los vapores de esta torre se condensan en el 5E-37 y se enfrían a 38 °C en el 5E-42.

La parafina dura se bombea con la 5G-7 a la torre de alta presión 5C-7 esta se calienta a 230 °C en el intercambiador 5E-40 en contra corriente con gasóleo antes de entrar; esta



torre trabaja con una presión de 2.8 kg/cm^2 y un reflujo de solvente seco para controlar una temperatura de 138 a 144 °C. La parafina dura sale de la torre a 225 °C pasa al agotador 5C-8, con control de nivel, para eliminar las trazas de solvente con vapor.

El agotador tiene un reflujo con solvente seco que controla una temperatura de 104 °C, sus vapores se condensan en los 5E-44 enviándolo posteriormente al acumulador de solvente húmedo 5C-43. La parafina dura del solvente, que se obtiene por destilación, se manda a tanques a una temperatura de 97 a 99 °C.

Los vapores de la torre atmosférica y la torre de presión se condensan y van al compartimiento respectivo del 5C-51. El exceso de solvente no utilizado en los reflujos se manda a control de nivel al 5D-7 para la dilución inicial.

3.1.1.7 RECUPERACIÓN DE SOLVENTE DEL CIRCUITO DE PARAFINA SUAVE

El sistema de recuperación en el circuito de parafina suave es similar al de parafina dura acumulada en el 5D-10, se precalienta a 99 °C y se descarga en la torre atmosférica 5C-18. La presión absoluta de trabajo en esta torre es 1.2 kg/cm^2 .

La parafina suave pasa a la torre 5C-19 a través del intercambiador 5E-66 donde se calienta con gasóleo caliente a 218 °C, la presión absoluta de trabajo en esta torre es de 3.4 kg/cm^2 . La parafina suave sale de la torre y pasa al agotador 5C-20, con control de nivel, para eliminar las trazas de solvente con vapor. La parafina suave del solvente, que se obtiene por destilación, se manda a tanques.

3.1.1.8 SECADO DE SOLVENTE

El solvente húmedo es secado en la torre 5C-42, columna que contiene 30 platos y se calienta con vapor de baja presión. Su alimentación proviene de los agotadores 5C-8, 5C-14 y 5C-20, donde también se puede utilizar como carga el solvente proveniente de los circuitos de parafina.

El acumulador de solvente húmedo es un decantador, en el cual se separan el agua y el solvente. Los vapores de los tres agotadores (5C-8, 5C-14 y 5C-20) se condensan en el intercambiador 5E-44, y el líquido se acumula en el 5C-43. Los condensadores también reciben la corriente de los vapores de la torre 5C-42 y de los agotadores de MEK 5C-24.

El agua de la chimenea de desfogue 5C-46 se manda a la pierna del acumulador 5C-43 y ocasionalmente el líquido del resumidero 5D-4 también se bombea al 5C-43. La fase de solvente húmedo se envía con una bomba al domo de la torre 5C-42 y la fase agua se manda al agotador de MEK 5C-24.

En los aceites ligeros el solvente del circuito de recuperación de la parafina dura se envía al secador de solvente y el solvente del circuito de parafina suave se envía al acumulador 5D-7, en los casos de aceites pesados el solvente del circuito de parafina suave va al secador y el solvente de parafina dura va al acumulador 5D-7.



El secador es una columna atmosférica que trabaja a 99 °C en el fondo y a 73 °C en el domo. La temperatura en el acumulador de solvente húmedo 5D-7 es de 43 °C. El calor al fondo de la torre 5C-42 es proporcionado por vapor de baja en el 5E-69.

El solvente seco se bombea del fondo de la torre 5C-42 a través del enfriador 5E-77 al acumulador de solvente húmedo 5D-7, de este acumulador se toma solvente para la primera dilución. La carga a los agotadores de MEK es el agua decantada del acumulador de solvente húmedo. La carga entra en la parte superior y el vapor se inyecta en el fondo. El agua libre de solvente sale por el fondo.

El sistema de gasóleo caliente incluye el calentador 5F-1, el acumulador 5C-25, las bombas 5G-26 A/B y el enfriador 5E-66, y es contenido en el 5C-25 normalmente a 260 °C. La bomba 5G-26 A/B succiona del acumulador y descarga en el calentador, donde la salida del calentador se controla a 315 °C y el exceso de aceite caliente se envía a través del enfriador 5E-66, al acumulador 5C-25.

El aceite caliente o gasóleo se usa para calentar la alimentación a las torres de alta presión 5C-7, 5C-12, 5C-19.

3.1.1.9 SISTEMA DE GAS INERTE

En el sistema de gas inerte se usa CO₂ de la Planta de Amoniaco, o bien sí, estas plantas están fuera de operación, del generador existente en la planta de hidrógeno.

El gas se enfría a la temperatura de filtración en los enfriadores 5E-63 A/B, los cuales trabajan con propano. Estos enfriadores proporcionan el gas inerte de soplado para desprender la torta en los filtros, el cual se mantiene en el acumulador de gas inerte 5D-1 de 57 m³ a temperatura ambiente.

El acumulador y la línea de balance de los filtros están a una presión manométrica de 11 mm de Hg, e incluye los acumuladores 5C-1, 5C-3, 5C-4 y 5C-27. La presión de succión de los compresores 5K-2 A/B es de 155 mm de Hg y la descarga de los compresores es 0.62 kg/cm², está es la presión manométrica en el cabezal de soplado. Todos los sistemas de disminución de presión van a la chimenea de desfogue 5C-56.

3.1.10 ENFRIAMIENTO CON PROPANO

Hay tres bancos en paralelo para enfriar la carga con propano a la temperatura de filtración. Cada banco consiste en tres intercambiadores con su acumulador de propano individual y uno de ellos es usado como relevo.

Los controladores registradores de temperatura (5TRC-14 al 21) regulan la temperatura de la carga a los filtros primarios. La señal de los registradores van a los controles de presión de los acumuladores, cuando la presión en el acumulador disminuye, la temperatura también baja, además el acumulador de propano esta equipado con un control de nivel.



La dilución final a la carga se hace en el segundo paso de enfriamiento con el lavado de los filtros primarios o bien se recircula aceite desparafinado. La recirculación de aceite filtrado se puede hacer también entre los enfriadores y el acumulador 5C-1.

Es importante para la filtración mantener constante la relación solvente/carga, la recirculación de aceite filtrado y todas las adiciones de solvente son registradas y controladas. El aceite filtrado de recirculación es controlado en el 5FRC-2, el cual mantiene un flujo de aceite desparafinado de recirculación que se inyecta después de los enfriadores.

La dilución con lavado de filtros "A" se controla cuidadosamente con el totalizador 5FRC-122, que mide el solvente tibio usado para las diluciones intermedias. Cuando se inyecta solvente caliente y frío en diluciones intermedia cada corriente se mide y la señal es enviada al 5FRC-122. Los medidores del solvente de acumuladores a enfriadores y el lavado de filtros "A" son registrados independientemente en el 5FR-120/ 121.

El uso de este sistema implica el fijar en el 5FRC-122, la cantidad total de solvente requerido. Si se usan las diluciones secundarias deben ponerse en control las automáticas. La suma de las diluciones intermedias debe ser aproximadamente igual a la cantidad que pasa por la 5FRC-122.

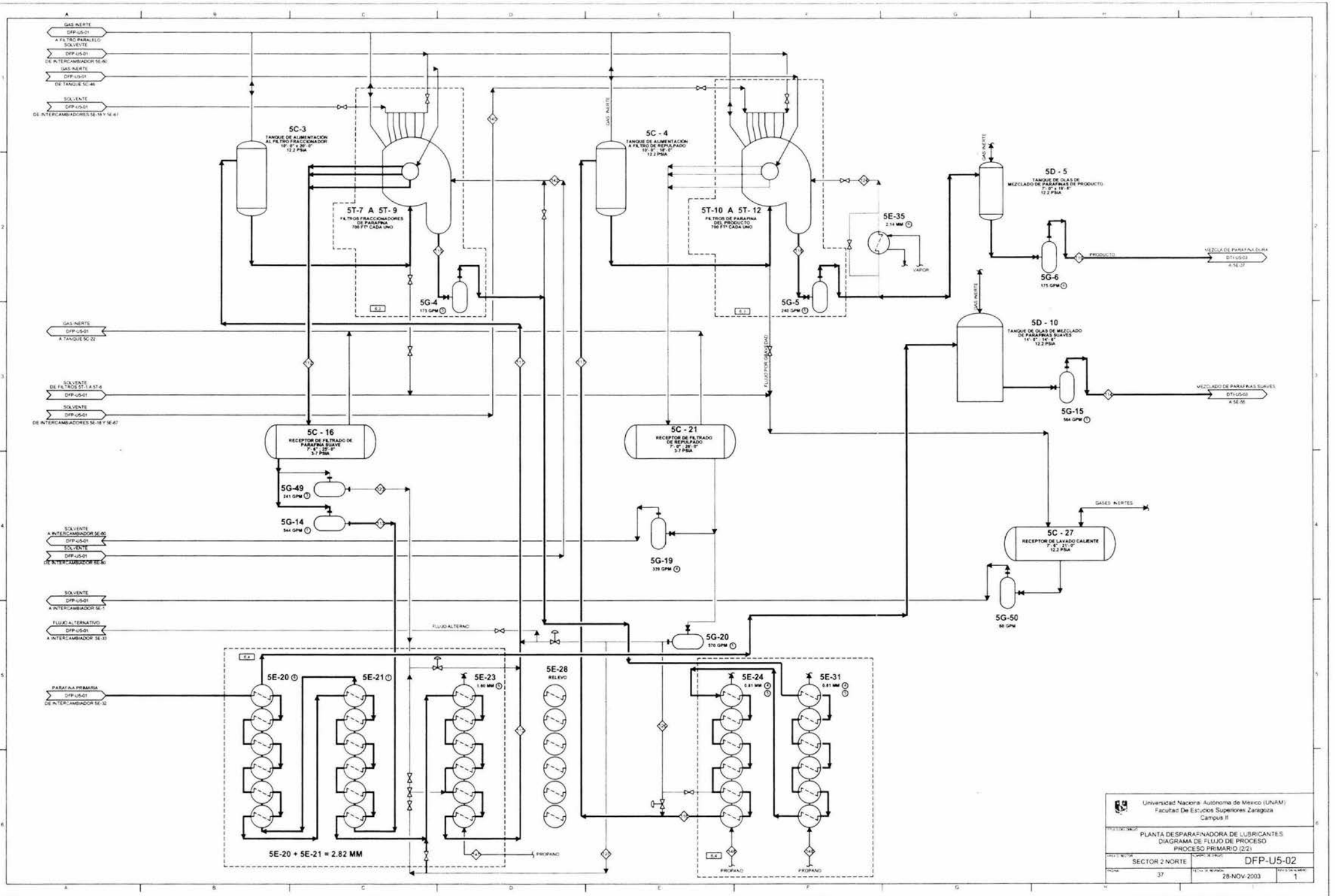
3.1.2 SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO

Este es un sistema cerrado, el propano es bombeado por un compresor centrífugo manejado por la turbina 5K-1 A/B. El gas comprimido se condensa en los cambiadores 5E-68 A/B/C y el refrigerante líquido entra al acumulador 5C-29 que trabaja a 13.5 kg/cm² y 29° C.

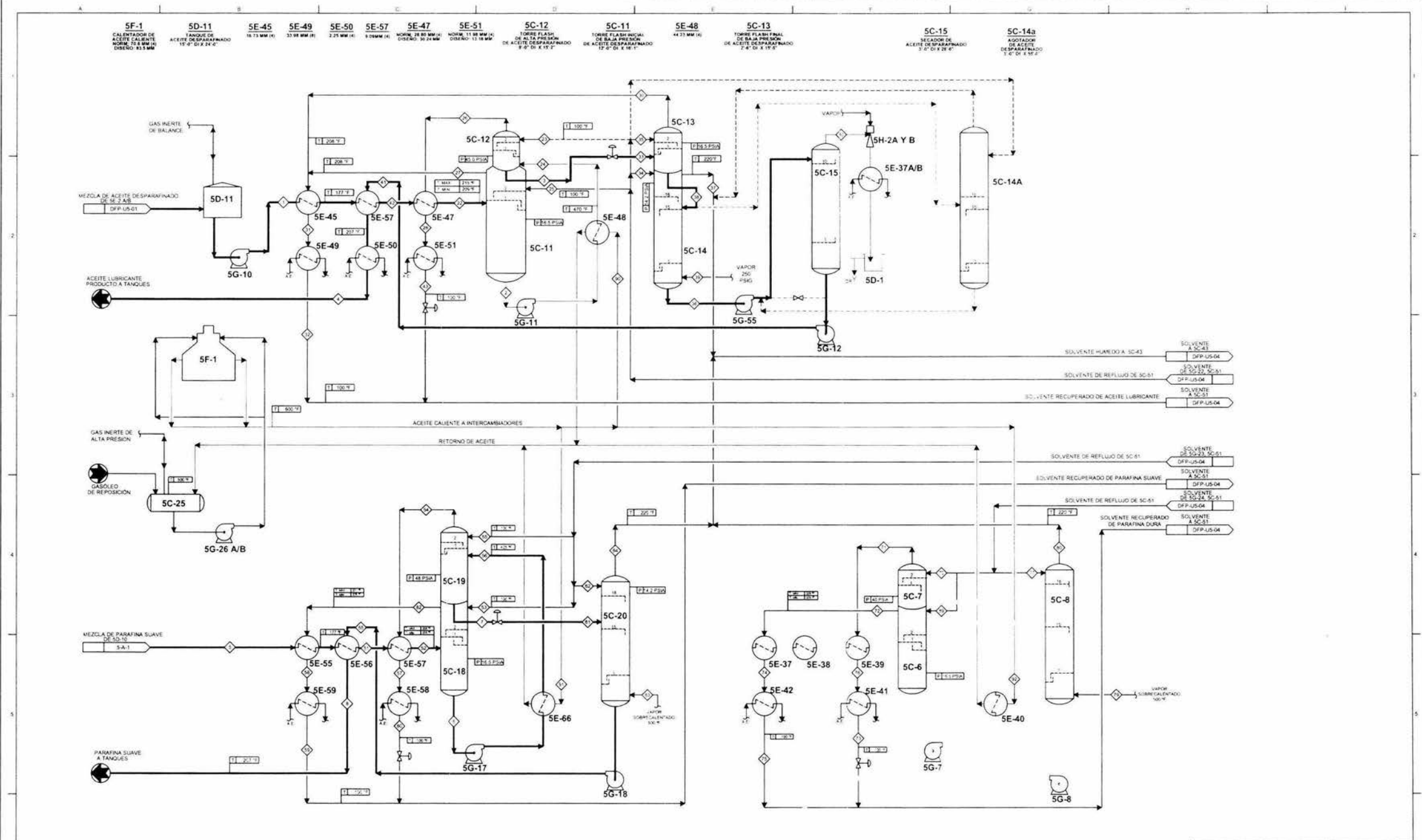
El propano líquido del acumulador 5C-29 va al economizador de alta 5C-45 para mantener un nivel líquido. El economizador de alta alimenta propano a los enfriadores de parafina a 5.76 kg/cm², en donde el refrigerante es vaporizado y regresado a la trampa de alta 5C-52. El acumulador 5C-52 tiene un serpentín para vaporizar el propano condensado. El gas de trampa 5C-52 entra al 2° paso de la carga al compresor. Una línea de vapores del economizador de alta recibe una alimentación de la línea de recirculación al compresor. Este flujo de vapores entra al 4° paso del compresor.

El economizador de baja presión 5C-44 recibe también propano líquido a control de nivel del economizador de alta. Este acumulador alimenta de propano a los enfriadores de carga a 2.18 kg/cm², donde el propano se vaporiza y regresa a la trampa de la succión 5C-40 cuya presión normal de trabajo en la succión del compresor es 0.246 kg/cm². Una línea de vapores del economizador de baja recibe una alimentación de la línea de vapores de recirculación al 2° paso y ambas pasan al 3° paso en los compresores 5K-1 A/B.

A continuación se anexan los DFP's antes descritos.



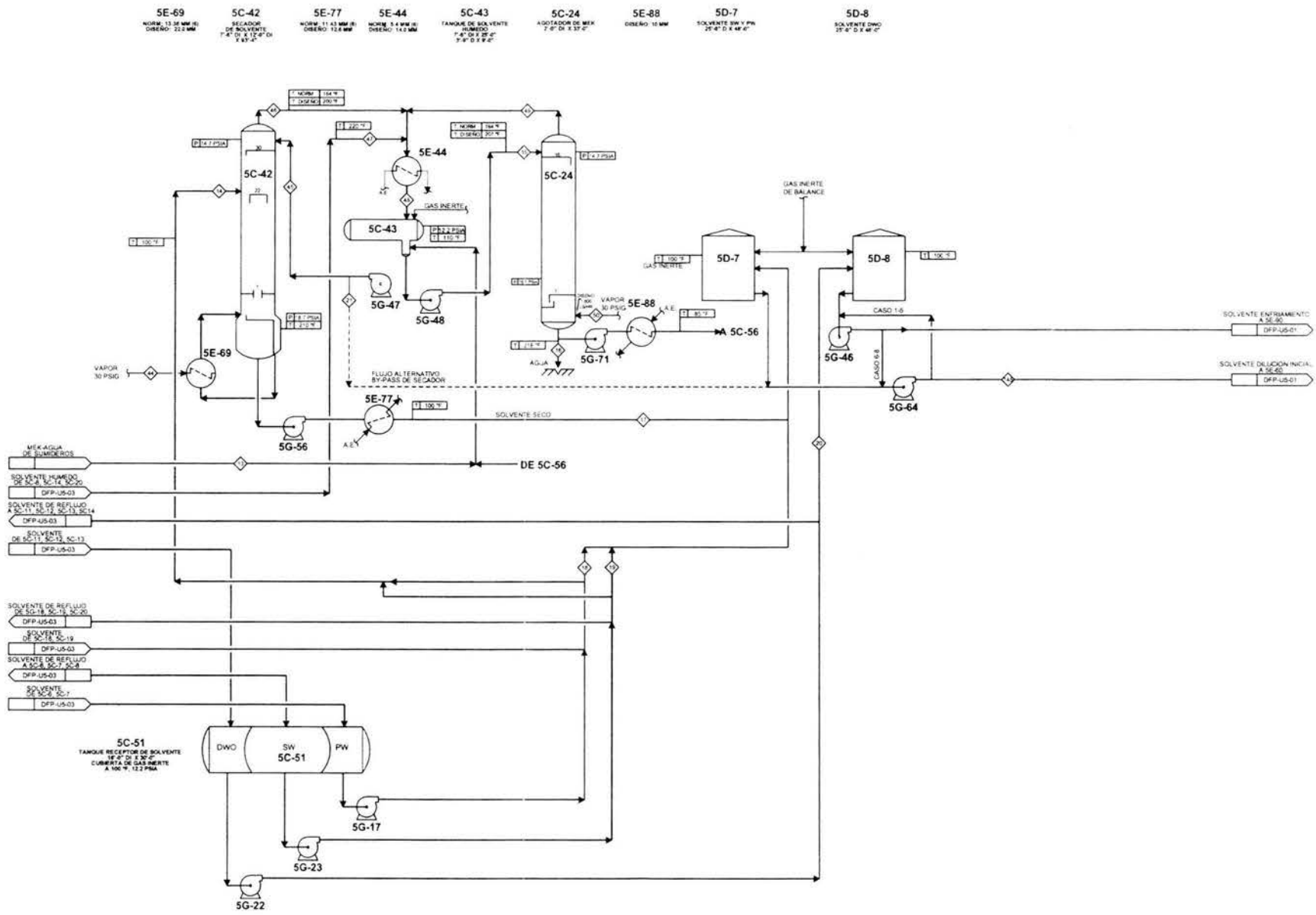
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II		
PLANTA DESPARAFINADORA DE LUBRICANTES DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO PROCESO PRIMARIO (2/2)		
AREA Y NOMBRE SECTOR 2 NORTE	NOMBRE DE PROCESO DFF-U5-02	FECHA DE ELABORACIÓN 28-NOV-2003
PAGINA 37	HOJA DE NÚMERO 1	HOJA DE TOTAL 1



5F-1 CALENTADOR DE ACEITE CALIENTE NORM: 75 X 8 MM (3) DISEÑO: 8 X 8 MM
5D-11 TANQUE DE ACEITE DESPARAFINADO 15" Ø" D X 24" C
5E-45 18.73 MM (3/4")
5E-49 33.98 MM (1 1/4")
5E-50 2.25 MM (1/8")
5E-57 9.09 MM (3/8")
5E-47 NORM: 28.80 MM (1 1/4") DISEÑO: 30.48 MM (1 1/8")
5E-51 NORM: 11.89 MM (1/2") DISEÑO: 13.18 MM (1/2")
5C-12 TORRE FLASH DE ALTA PRESIÓN DE ACEITE DESPARAFINADO 6' Ø" D X 15' C
5C-11 TORRE FLASH INICIAL DE BAJA PRESIÓN DE ACEITE DESPARAFINADO 12' Ø" D X 16' C
5E-48 4.73 MM (3/16")
5C-13 TORRE FLASH FINAL DE BAJA PRESIÓN DE ACEITE DESPARAFINADO 7' Ø" D X 15' C
5C-15 SECAADOR DE ACEITE DESPARAFINADO 31' Ø" D X 28' C
5C-14a AGITADOR DE ACEITE DESPARAFINADO 1' Ø" D X 16' C

5C-25 TANQUE DE ACEITE CALIENTE 12' Ø" D X 25' C
5E-55 NORM: 7.11 MM (1/4") DISEÑO: 9.14 MM (3/8")
5E-56 NORM: 2.84 MM (1/8") DISEÑO: 1.80 MM (1/16")
5E-57 13.80 MM (1/2")
5E-59 13.82 MM (1/2")
5E-58 NORM: 5.99 MM (1/4") DISEÑO: 6.55 MM (1/4")
5C-19 TORRE FLASH DE ALTA PRESIÓN DE PARAFINA SUAVE 6' Ø" D X 12' C
5C-18 TORRE FLASH DE BAJA PRESIÓN DE PARAFINA SUAVE 9' Ø" D X 17' C
5E-66 NORM: 2.29 MM (1/8") DISEÑO: 2.54 MM (1/8")
5C-20 AGITADOR DE PARAFINA SUAVE 2' Ø" D X 46' C
5E-37 NORM: 2.29 MM (1/8") DISEÑO: 2.84 MM (1/8")
5E-38 NORM: 1.41 MM (1/16") DISEÑO: 1.81 MM (1/16")
5E-39 4.41 MM (1/4")
5E-42 4.21 MM (1/4")
5E-41 1.38 MM (1/16")
5C-7 TORRE FLASH DE ALTA PRESIÓN DE PARAFINA PRODUCTO 4' Ø" D X 15' C
5C-6 TORRE FLASH DE BAJA PRESIÓN DE PARAFINA PRODUCTO 6' Ø" D X 15' C
5E-40 7.62 MM (3/4")
5C-8 AGITADOR DE PARAFINA PRODUCTO 2' Ø" D X 47' C

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad De Estudios Superiores Zaragoza Campus II		
PLANTA DESPARAFINADORA DE LUBRICANTES DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SECCIÓN DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTE (1'2)		
SECTOR 2 NORTE	DFP-U5-03	
38	28-NOV-2003	1

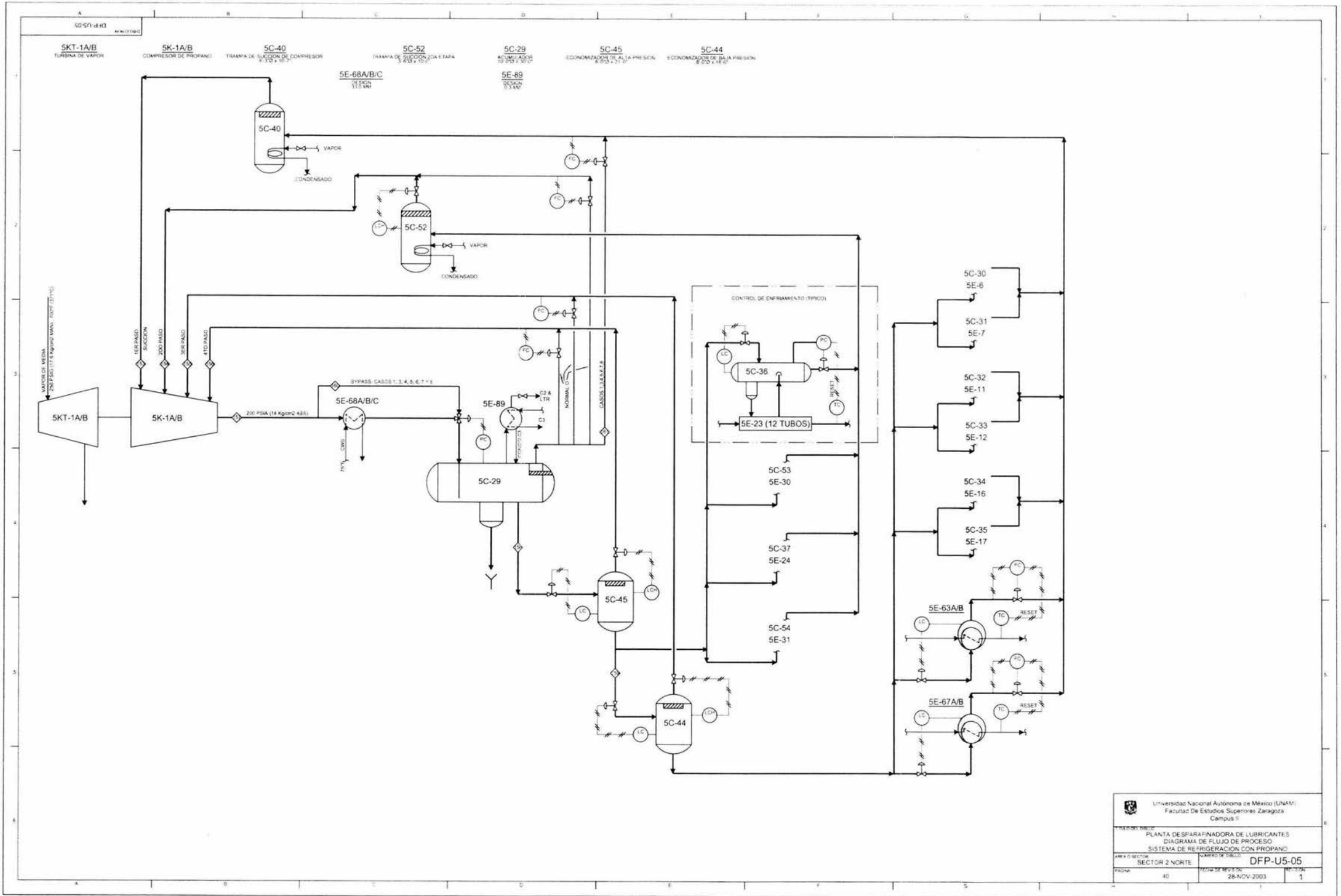


5E-69 NORM. 13.36 MM (8) DISEÑO: 21.2 MM
5C-42 SECADOR DE SOLVENTE T. 4' 0" D. 12' 0" C. 14' 0" P.
5E-77 NORM. 11.43 MM (8) DISEÑO: 12.6 MM
5E-44 NORM. 5.4 MM (8) DISEÑO: 14.2 MM
5C-43 TANQUE DE SOLVENTE HEMEDO T. 4' 0" D. 12' 0" C. 14' 0" P.
5C-24 AGITADOR DE MEZ T. 7' 6" D. 13' 0" C. 7' 6" P.
5E-88 DISEÑO: 10 MM
5D-7 SOLVENTE SW Y PW T. 2' 4" D. 4' 48" C.
5D-8 SOLVENTE DWO T. 2' 4" D. 4' 48" C.

- MEX. AGUA DE SUMINISTROS
- SOLVENTE HEMEDO DE 5C-2, 5C-12, 5C-20 DFP-U5-03
- SOLVENTE DE REFLUJO A 5C-11, 5C-12, 5C-13, 5C-14 DFP-U5-03
- SOLVENTE DE REFLUJO DE 5C-11, 5C-13, 5C-13 DFP-U5-03
- SOLVENTE DE REFLUJO DE 5C-18, 5C-19 DFP-U5-03
- SOLVENTE DE REFLUJO A 5C-8, 5C-7, 5C-8 DFP-U5-03
- SOLVENTE DE 5C-6, 5C-7 DFP-U5-03

5C-51
 TANQUE RECEPTOR DE SOLVENTE SE Y P. 8' 0" C. 12' 0" P. CUBIERTA DE GAS INERTE A 100 Y. 12.2 PSIA

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad de Estudios Superiores Zaragoza Campus II		
PLANTA DESPARAFINADORA DE LUBRICANTES DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SECCIÓN DE RECUPERACIÓN DE SOLVENTE		
SECTOR 2 NORTE	DFP-U5-04	
PÁGINA 39	FECHA DE IMPRESIÓN 28-NOV-2003	HOJA DE DISEÑO 1



Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Facultad De Estudios Superiores Zaragoza Campus II			
PLANTA DESPARAFINADORA DE LUBRICANTES DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SISTEMA DE REFRIGERACION CON PROPANO			
AREA O SECTOR: SECTOR 2 NORTE	NUMERO DE DISEÑO: DFP-U5-05		
PAGINA: 40	FECHA DE MODIFICACION: 28-NOV-2003	REVISOR: 1	



3.2 REALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

Se realizó el análisis HazOp al Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes, tomando como base la metodología explicada en el capítulo anterior (punto 2.4.1).

3.2.1 DESARROLLO DE TRABAJO PARA EL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP)

El desarrollo de trabajo utilizado por el equipo que realizó el estudio HazOp en el Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes se resume en los siguientes puntos:

- Obtener un conocimiento detallado del proceso a analizar a través de la actualización y verificación en el campo de diagramas de tubería e instrumentación (DTI's).
- Seleccionar los nodos (en orden del flujo de proceso) en los que se aplicó la técnica HazOp.
- Conocer y tener al alcance los procedimientos normativos internos, la normatividad local, nacional y estándares internacionales.
- Formación del equipo HazOp integrado principalmente por: Ingenieros de operación, proceso, mantenimiento, seguridad, instrumentos, el moderador y un secretario.
- Establecer las formas de trabajo: puntualidad, participación activa y positiva, evitar las discusiones innecesarias y concentración en el estudio para la generación de ideas.
- Aplicar la técnica para determinar, además, las desviaciones, causas, consecuencias, salvaguardas, recomendaciones, acciones y los límites de operación (de temperatura, presión, nivel, etc.) y así identificar escenarios de accidentes determinando la gravedad (G), frecuencia (F), índice de riesgo (IR) y clase de riesgo (CR).
- Elaborar un reporte HazOp.
- Desarrollar un plan de trabajo para la implementación de las medidas correctivas obtenidas.

3.2.2 MATRIZ DE ÍNDICE Y CLASE DE RIESGOS UTILIZADAS EN EL ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP) DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO

A continuación se describe la matriz de índice y clase de riesgos utilizada para el análisis HazOp, que como se dijo en la descripción hecha en el capítulo anterior (puntos 2.4.1.2.3 y 2.4.1.2.4) depende de la compañía que realiza el análisis o requerimientos de la compañía a la que se le hace el análisis.

3.2.2.1 MATRIZ DE ÍNDICE DE RIESGOS 4 X 5

El índice o nivel de riesgo permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad o no del riesgo, o bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. El sistema para establecer las prioridades de las recomendaciones a implementar deberá usar una matriz de índice de riesgo que combine la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad o gravedad de las consecuencias del mismo (tabla 3.5).

Tabla 3.5 Tabla de índice de riesgos de frecuencia-gravedad.

GRAVEDAD		FRECUENCIA				
		<i>Frecuente</i>	<i>Poco frecuente</i>	<i>Raro</i>	<i>Muy Raro</i>	<i>Extrem. Raro</i>
		1	2	3	4	5
<i>Catastrófico</i>	1	1	1	1	2	4
<i>Severo</i>	2	1	2	3	3	4
<i>Moderado</i>	3	2	3	4	4	4
<i>Ligero</i>	4	4	4	4	4	4

La gravedad de la consecuencia también la determinará el equipo multidisciplinario, según su experiencia, considerando los siguientes parámetros:

Tabla 3.6 Tabla de gravedad.⁽²⁾

NUM.	TIPO DE GRAVEDAD	DESCRIPCIÓN
1	Catastrófico	Una muerte dentro o fuera del sitio/daños irreversibles y pérdidas de producción mayores a \$20 millones que generen paro total de planta.
2	Severa	Lesiones múltiples/daños mayores a propiedades y pérdidas entre \$2 millones y \$20 millones generando un paro parcial.
3	Moderado	Heridas ligeras/daños menores a propiedades y pérdidas de producción entre \$500 mil y \$2 millones generando un paro parcial.
4	Baja	No hay heridas/daños mínimos a propiedades y pérdidas de producción menores a \$500 mil, que genere un paro, a la sustitución o reparación de accesorios.

La frecuencia de una causa la establecerá el equipo multidisciplinario, de acuerdo a su experiencia, en cualquiera de los siguientes rangos mostrados en la tabla 3.7.

Tabla 3.7 Tabla de frecuencia.⁽²⁾

NUM.	TIPO DE GRAVEDAD	DESCRIPCIÓN
1	Frecuente	Ocurre más de una vez por mes.
2	Poco Frecuente	Ocurre más de una vez por año.
3	Raro	Ocurre una vez en 5 años.
4	Muy Raro	Ocurre una solo una vez cada 20 años o durante la vida útil de la Planta.
5	Extremadamente raro	Ocurre una sola vez en 100 años.

3.2.2.2 MATRIZ DE CLASE DE RIESGOS 4 X 5

Una vez estimado el riesgo se le asigna una letra de la A a la D para clasificar la recomendación o recomendaciones que se planteen para disminuir su correspondiente riesgo, originando una matriz de clase de riesgos como la que a continuación se observa e las tablas 3.8 y 3.9.

Tabla 3.8 Tabla de clase de riesgos de frecuencia-gravedad.

GRAVEDAD		FRECUENCIA				
		Frecuente	Poco frecuente	Raro	Muy Raro	Extrem. Raro
		1	2	3	4	5
Catastrófico	1	A	A	A	B	D
Severo	2	A	B	C	C	D
Moderado	3	B	C	D	D	D
Ligero	4	D	D	D	D	D

Tabla 3.9 Significado de la clase de riesgos en la matriz de clase de riesgo.

Num. de Riesgo	Clase de Recomendación	Descripción	Seguimiento.
1	A	Inaceptable	Se deben tomar medidas correctivas, mitigar, revisar y en su caso, modificar los procedimientos, en un periodo de 6 a 3 meses.
2	B	Indeseable	Se deben revisar y en su caso, modificar los procedimientos y controles, tanto de ingeniería como administrativos en un periodo de 3 a 12 meses.
3	C	Aceptable con controles.	Se debe revisar y en su caso, modificar los procedimientos de control del proceso.
4	D	Aceptable	Riesgo generalmente aceptable; no requiere medidas de mitigación.



3.2.3 LISTA DE BUENAS PRÁCTICAS OPERACIONALES

En el seguimiento de las siguientes buenas prácticas operacionales fueron consideradas protecciones en diversos escenarios que se estudiaron en el análisis HazOp. Para dar cumplimiento a éstas, se cuenta con programas de actividades establecidos y se recomienda la continuación de su aplicación para el funcionamiento seguro de las instalaciones de la planta. Ya que disminuye el riesgo y permite un mejor funcionamiento del Sistema de Enfriamiento con Propano y de la Planta Desparafinadora en general.

Tabla 3.10 Lista de buenas practicas operacionales.

NO.	RECOMENDACIONES
1.	Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a cambiadores de calor.
2.	Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a bombas.
3.	Dar seguimiento a los programas de mantenimiento preventivo a instrumentos.
4.	Dar seguimiento a los simulacros operacionales.
5.	Dar seguimiento a las hojas de datos de condiciones de operación.
6.	Dar seguimiento al programa de rotación de equipo dinámico.
7.	Dar seguimiento al programa de calibración a líneas y equipos.
8.	Dar seguimiento al programa de mantenimiento preventivo a válvulas de seguridad.
9.	Dar seguimiento a las rutinas operacionales.
10.	Dar seguimiento a los programas de calibración del equipo.

3.2.4 RESULTADOS DEL ANÁLISIS HAZOP

En esta parte del estudio de riesgos, del Sistema de Enfriamiento con Propano en la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes y con base a las reuniones de estudio HazOp que se llevaron a cabo en conjunto con el personal de la planta, se analizó el proceso junto con los diagramas de tubería e instrumentación actualizados, obteniéndose las causas y consecuencias que originan riesgo al personal y equipo que se utiliza así como las recomendaciones para eliminar o disminuir dicho riesgo.

A continuación se presentan los resultados del análisis HazOp del Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes (tabla 3.11). La división de los nodos se hizo de acuerdo a las decisiones del equipo multidisciplinario ya que se consideró que esta división era la más adecuada para su estudio.



Tabla 3.11 Descripción del análisis HazOp para el circuito de Enfriamiento con Propano.

NODO 1				
ACUMULADOR DE PROPANO 5C-29				
ALTA PRESIÓN				
<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Falla de lazo de control 5PRC-173, quedando alineado el directo de los 5E-68 A/B/C.	1.- Envío de propano al quemador. 2.- Contaminación ambiental. 3.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 4.- Formación y posible explosión de nube e incendio. 5.- Paro de planta.	4	3	C
Falla de lazo de control LIC-115, cerrando automática.	1.- Alto nivel en el 5C-29. 2.- Alta presión en la línea de recirculación. 3.- Arrastre de propano líquido hacia la succión de los pasos 3 y 4 del compresor de propano. 4.- Daños al compresor de propano. 5.- Envío de propano al quemador. 6.- Fuga de propano en el compresor. 7.- Formación y posible explosión de nube e incendio. 8.- Paro de planta.	4	4	D
Más presión en línea de llegada de propano de almacenamiento.	1.- Envío de propano al quemador. 2.- Contaminación ambiental. 3.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible explosión e incendio. 6.- Paro de planta.	3	3	D
Falla de agua de enfriamiento a los 5E-68 A/B/C.	1.- Envío de propano al quemador. 2.- Contaminación ambiental. 3.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible explosión e incendio. 6.- Paro de planta.	3	3	D
No actúa PSV-93.	1.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 7.- Formación y posible explosión de nube e incendio. 4.- Paro de planta.	3	3	D
Fuego externo en las inmediaciones del 5C-29.	1.- Alta temperatura en el 5C-29. 2.- Envío de propano al quemador. 3.- Contaminación ambiental. 4.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 5.- Formación de nube explosiva. 6.- Posible explosión BLEVE e incendio. 7.- Paro de planta.	3	2	C



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Presencia de incondensables en el propano.	1.- Envío de propano e incondensables al quemador. 2.- Contaminación ambiental. 3.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible explosión e incendio. 6.- Paro de planta.	3	3	D
MENOS PRESIÓN				
Falla de lazo de control 5PRC-173, quedando alineados solamente los 5E-68 A/B/C.	1.- Menos flujo hacia el economizador 5C-45. 2.- Más nivel de propano líquido en el 5C-29. 3.- Arrastre de propano líquido hacia la succión de los pasos 3 y 4 del compresor de propano. 4.- Daños al compresor de propano. 5.- Fuga de propano en el compresor. 6.- Formación de nube explosiva. 7.- Posible explosión e incendio. 8.- Paro de planta.	5	4	D
5PSV-93 calzada.	1.- Envío de propano al quemador. 2.- Contaminación ambiental. 3.- Menos flujo hacia el economizador 5C-45. 4.- Más nivel de propano líquido en el 5C-29. 5.- Arrastre de propano líquido hacia la succión de los pasos 3 y 4 del compresor de propano. 6.- Daños al compresor de propano. 7.- Fuga de propano en el compresor. 8.- Formación de nube explosiva. 9.- Posible explosión e incendio. 10.- Paro de planta.	3	3	D
Venteo o purga abierta en los arreglos de nivel.	1.- Fuga de propano con formación de nube explosiva. 2.- Posible explosión e incendio. 3.- Paro de planta.	4	3	D
Ruptura de tubos de los 5E-68 A/B/C.	1.- Envío de propano a la torre de enfriamiento. 2.- Formación de nube explosiva en la torre de enfriamiento. 3.- Posible explosión e incendio. 4.- Menos flujo hacia el economizador 5C-45. 5.- Menos nivel en el 5C-29.	4	4	D



CAUSA Y/O FUNDAMENTO	CONSECUENCIA	G	F	R
MÁS NIVEL				
Falla de lazo de control LIC-115, cerrando automática.	1.- Más presión en la línea de recirculación. 2.- Arrastre de propano líquido hacia la succión de los pasos 3 y 4 del compresor de propano. 3.- Daños al compresor de propano. 4.- Fuga de propano en el compresor. 5.- Formación de nube explosiva. 6.- Posible explosión e incendio. 7.- Contaminación ambiental. 8.- Paro de planta.	4	2	B
Falla de lazo de control 5PRC-173, quedando alineados solamente los 5E-68 A/B/C.	1.- Menos flujo hacia el economizador 5C-45. 2.- Arrastre de propano líquido hacia la succión de los pasos 3 y 4 del compresor de propano. 3.- Daños al compresor de propano. 4.- Fuga de propano en el compresor. 5.- Formación de nube explosiva. 6.- Posible explosión e incendio. 7.- Paro de planta.	5	3	B
MENOS NIVEL				
Falla del lazo de control 5LIC-115, abriendo automática.	1.- Alto nivel en el 5C-45. 2.- Arrastre de líquido hacia el compresor de propano. 3.- Pérdida de sello líquido en el 5C-29. 4.- Alta presión en el 5C-45.	4	2	B
Falla de lazo de control 5PRC-173, quedando alineado el directo de los 5E-68 A/B C.	1.- Más presión en el 5C-29. 2.- Pérdida de sello líquido en el 5C-29. 3.- Alta presión en el 5C-45.	4	2	B
Ruptura de tubos de los 5E-68 A/B/C..	1.- Menos flujo hacia el 5C-29. 2.- Envío de propano a la torre de enfriamiento. 3.- Formación de nube explosiva en la torre de enfriamiento. 4.- Posible explosión e incendio. 5.- Menos flujo hacia el economizador 5C-45.	4	2	B
Purga abierta en los arreglos de nivel.	1.- Fuga de propano con formación de nube explosiva. 2.- Posible explosión e incendio. 3.- Paro de planta.	4	2	B



CAUSA Y/O FUNDAMENTO	CONSECUENCIA	G	F	R
MÁS TEMPERATURA				
Falla de agua de enfriamiento.	1.- Alta presión en el 5C-29. 2.- Bajo nivel en el 5C-29. 3.- Menos flujo hacia el 5C-45. 4.- Deficiente enfriamiento de la carga, gas inerte, solvente y parafina. 5.- Envío de propano al quemador. 6.- Contaminación ambiental. 7.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 8.- Formación de nube explosiva. 9.- Posible explosión e incendio. 10.- Paro de planta.	3	3	D
Alta temperatura en la descarga del compresor.	1.- Alta presión en el 5C-29. 2.- Bajo nivel en el 5C-29. 3.- Menos flujo hacia el 5C-45. 4.- Deficiente enfriamiento de la carga, gas inerte, solvente y parafina. 5.- Envío de propano al quemador. 6.- Contaminación ambiental. 7.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 8.- Formación de nube explosiva. 9.- Posible explosión e incendio. 10.- Paro de planta.	3	3	D
Falla de lazo de control 5PRC-173, quedando alineado el directo de los 5E-68 A/B/C.	1.- Alta presión en el 5C-29. 2.- Menos nivel en el 5C-29. 3.- Menos flujo hacia el 5C-45. 4.- Deficiente enfriamiento de la carga, gas inerte, solvente y parafina. 5.- Envío de propano al quemador. 6.- Contaminación ambiental. 7.- Fuga de propano por bridas y conexiones. 8.- Formación de nube explosiva. 9.- Posible explosión e incendio. 10.- Paro de planta.	4	2	B
CORROSIÓN				
Llegada de propano corrosivo al 5C-29..	1.- Adelgazamiento de líneas, niples y equipo. 2.- Ruptura de líneas, niples y equipo. 3.- Fuga de propano. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible explosión e incendio. 6.- Paro de planta.	4	3	C



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Corrosión externa por humedad del ambiente.	1.- Pérdida de espesor en líneas, nipples y equipos. 2.- Corrosión de tornillería. 3.- Debilitamiento de soportarías, escaleras y plataformas del 5C-29. 4.- Posibles lesiones del personal por caídas desde niveles superiores de la estructura. 5.- Fugas de propano. 6.- Formación de nube explosiva. 7.- Posible explosión e incendio. 8.- Paro de planta.	4	2	B

NODO 2**COMPRESOR DE PROPANO 5K-1A/B****MENOS PRESIÓN EN LA DESCARGA**

<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Baja eficiencia de enfriamiento del condensador 5E-70	1.- Disminución de la velocidad de la turbina 5KT-1A/B. 2.- Menos flujo de propano al 5C-29. 3.- Menos flujo de propano a los enfriadores. 4.- Baja eficiencia de los enfriadores. 5.- Bajo nivel de condensado 5E-70. 6.- Cavitación de la bomba 5GM-31A/B/C. 7.- Daños a la bomba 5GM-31A/B/C.	3	4	D
Falla de la bomba de condensado 5GM-31A/B/C.	1.- Alto nivel de condensador en el 5E-70. 2.- Se pierde el vacío en la turbina 5KT-1A/B. 3.- Alta vibración de la turbina y compresor. 4.- Daños a la turbina y compresor. 5.- Menos flujo de propano al 5C-29. 6.- Menos flujo de propano a enfriadores. 7.- Paro de planta.	4	4	D
Falla del gobernador de vapor a la turbina 5KT-1A/B.	1.- Disminución de la velocidad de la turbina. 2.- Alta vibración de la turbina y compresor. 3.- Daños a la turbina y compresor. 4.- Menos flujo de propano al 5C-29. 5.- Menos flujo de propano a los enfriadores. 6.- Baja eficiencia de los enfriadores. 7.- Paro del compresor. 8.- Paro de planta.	3	3	D



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Pérdida de hermeticidad en la succión de la bomba 5GM-31A/B/C.	1.- Disminución de la velocidad de la turbina. 2.- Vibración de la turbina y compresor. 3.- Daños a la turbina y compresor. 4.- Menos flujo de propano al 5C-29. 5.- Menos flujo de propano a enfriadores. 6.- Paro de planta.	4	3	C
Ruptura de tubos en el condensador 5E-70.	1.- Alto nivel de condensador en el 5E-70. 2.- Contaminación con agua de enfriamiento en el condensado. 3.- Se pierde el vacío en la turbina 5KT-1A/B. 4.- Disminución de la velocidad de la turbina y compresor. 5.- Alta vibración de la turbina y compresor. 6.- Daños a la turbina y compresor. 7.- Menos flujo de propano al 5C-29. 8.- Menos flujo de propano a enfriadores. 9.- Paro de planta.	3	3	D
Falla del lazo de control 5LC-100 cerrando automática.	1.- Alto nivel de condensador en el 5E-70. 2.- Se pierde el vacío en la turbina 5KT-1A/B. 3.- Disminución de la velocidad de la turbina y compresor. 4.- Alta vibración de la turbina y compresor. 5.- Daños a la turbina y compresor. 6.- Menos flujo de propano al 5C-29. 7.- Menos flujo de propano a enfriadores. 8.- Paro de planta.	4	3	C
Baja presión de vapor en el cabezal.	1.- Disminución de la velocidad de la turbina y compresor. 2.- Alta vibración de la turbina y compresor. 3.- Daños a la turbina y compresor. 4.- Menos flujo de propano al 5C-29. 5.- Menos flujo de propano a enfriadores. 6.- Paro de planta.	4	3	C
Baja presión en aceite de lubricación al compresor.	1.- Calentamiento excesivo de las chumaceras de la turbina y compresión. 2.- Daños a las chumaceras de la turbina y compresor. 3.- Alta vibración de la turbina y compresor. 4.- Daños a la turbina y compresor. 5.- Fuga por sellos y explosión. 6.- Paro de planta.	4	3	C



CAUSA Y/O FUNDAMENTO	CONSECUENCIA	G	F	R
MENOS PRESIÓN EN LA SUCCIÓN				
Alto nivel en los acumuladores de propano de los enfriadores de carga.	1.- Cavitación del compresor. 2.- Alta vibración del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Menos flujo de carga de propano. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Paro de planta.	4	3	C
Falla del lazo de control 5PRC-79 abriendo automática de vapor de la turbina.	1.- Alta velocidad en la turbina y compresor. 2.- Alta vibración de la turbina y compresor. 3.- Daños a la turbina y compresor. 4.- Paro de planta	3	3	D
Falla del lazo de control 5FRC-86/186/184/128 cerrando automática.	1.- Cavitación del compresor. 2.- Alta vibración del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Menos flujo de carga de propano. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Paro de planta.	4	3	C
Taponamiento de pichanchas en la succión del compresor.	1.- Cavitación del compresor. 2.- Alta vibración del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Menos flujo de carga de propano. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Paro de planta.	4	3	C
ALTA PRESIÓN EN LA DESCARGA				
Falla del gobernador de la turbina 5KT-1A/B abriendo la válvula de vapor.	1.- Alta velocidad de la turbina y compresor. 2.- Daños a la turbina y compresor. 3.- Paro del compresor. 4.- Paro de planta.	4	4	D
Falla del agua de enfriamiento 5E-68A/B.	1.- Disminución en la velocidad del compresor. 2.- Alta vibración del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Deficiencia de enfriamiento. 5.- Paro de planta.	3	3	D
Alta temperatura en el agua de enfriamiento.	1.- Alta temperatura en las chumaceras del compresor 2.- Alta vibración de la turbina y compresor. 3.- Daños a las chumaceras del compresor y la turbina. 4.- Posible punto de ignición de fugas de propano. 5.- Incendio y paro de planta.	4	3	C



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Mala calidad en el propano.	1.- Efecto "stone-wall". 2.- Alta vibración de la turbina y compresor. 3.- Alta temperatura en la descarga del compresor. 4.- Daños a la turbina y compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Menos flujo de propano a los enfriadores. 7.- Deficiencia de enfriamiento. 8.- Posible incendio. 9.- Paro de planta.	4	3	C
BAJA PRESIÓN EN LA SUCCIÓN				
Mala calidad del propano.	1.- Alto nivel en los acumuladores de propano de enfriadores. 2.- Alto nivel en el 5C-40. 3.- Arrastre de propano líquido a la succión del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Fugas de propano con posible incendio. 7.- Paro de planta.	4	3	C
Falla del gobernador.	1.- Alto nivel en los acumuladores de propano de enfriadores. 2.- Alto nivel en el 5C-40. 3.- Arrastre de propano líquido a la succión del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Fugas de propano con posible incendio. 7.- Paro de planta.	4	3	C
Falla del lazo de control 5FRC-86/184/186/128 abriendo automática..	1.- Alto nivel en los acumuladores de propano de enfriadores. 2.- Alto nivel en el 5C-40. 3.- Arrastre de propano líquido a la succión del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Fugas de propano con posible incendio. 7.- Paro de planta.	5	3	B



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Falla del lazo de control 5PIC-79 cerrando automática.	1.- Alto nivel en los acumuladores de propano de enfriadores. 2.- Alto nivel en el 5C-40. 3.- Arrastre de propano líquido a la succión del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Fugas de propano con posible incendio. 7.- Paro de planta.	4	2	B
MENOS FLUJO EN LA SUCCIÓN				
Cierre de la válvula 5LCH-126VA/127VA/128VA.	1.- Cavitación del compresor. 2.- Daños al compresor. 3.- Fugas de propano. 4.- Posible incendio. 5.- Menos flujo de propano a los enfriadores. 6.- Deficiencia en el enfriamiento. 7.- Paro de planta.	4	2	B
Falla del lazo de control 5FRC-86/184/186/128	1.- Cavitación del compresor. 2.- Daños al compresor. 3.- Fugas de propano. 4.- Posible incendio. 5.- Menos flujo de propano a los enfriadores. 6.- Deficiencia en el enfriamiento. 7.- Paro de planta.	4	2	B
ALTA TEMPERATURA EN LA DESCARGA				
Alta temperatura en el agua de enfriamiento.	1.- Represionamiento en la descarga del compresor. 2.- Disminución en la velocidad del compresor. 3.- Alta vibración del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Posible incendio. 7.- Deficiencia de enfriamiento. 8.- Paro de planta.	4	3	C
Taponamiento de los tubos de los enfriadores de propano 5E-68A/B.	1.- Represionamiento en la descarga del compresor. 2.- Disminución en la velocidad del compresor. 3.- Alta vibración del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Posible incendio. 7.- Deficiencia de enfriamiento. 8.- Paro de planta.	4	3	C



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Alta cantidad de ligeros en el propano.	1.- Represionamiento en la descarga del compresor. 2.- Disminución en la velocidad del compresor. 3.- Alta vibración del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Posible incendio. 7.- Deficiencia de enfriamiento. 8.- Paro de planta.	4	3	C
CONTAMINACIÓN DEL PROPANO				
Falla de sellos del compresor introduciendo aceite al propano.	1.- Baja la presión de aceite de lubricación. 2.- Cavitación del compresor. 3.- Alta vibración del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Taponamiento en los enfriadores con propano. 7.- Deficiencia en el enfriamiento. 8.- Posible incendio. 9.- Paro de planta.	4	3	C
Alta cantidad de ligeros en el propano.	1.- Represionamiento en la descarga del compresor. 2.- Disminución en la velocidad del compresor. 3.- Alta vibración del compresor. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Posible incendio. 7.- Deficiencia de enfriamiento. 8.- Paro de planta.	4	3	C
INSTRUMENTACIÓN OBSOLETA				
Tablero de alarmas y disparos no confiables por largo tiempo en operación.	1.- Pérdida de indicación y monitoreo del compresor. 2.- Falla en el control de presión del circuito de refrigeración. 3. Paro de planta.	4	2	B
Lazos de controles no confiables por largo tiempo en operación y faltos de refacciones.	1.- Falla en el control de presión y líneas auxiliares a la succión del compresor.	4	2	B



NODO 3 ECONOMIZADOR DE ALTA PRESIÓN 5C-45.				
ALTO NIVEL				
<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Falla del lazo de control 5LIC-115 abriendo automática.	1.- Arrastre de propano líquido a la succión del 4o paso del compresor. 2.- Represionamiento del 5C-45. 3.- Daños al compresor. 4.- Fugas de propano en el compresor. 5.- Posible explosión e incendio. 6.- Deficiencia en el sistema de enfriamiento. 7.- Envío de propano a desfogue. 8.- Contaminación ambiental. 9.- Paro de planta.	4	3	C
Falla del lazo de control 5LIC-116 cerrando automática.	1.- Arrastre de propano líquido a la succión del 4to. paso del compresor. 2.- Represionamiento del 5C-45. 3.- Menos nivel en el 5C-44. 4.- Deficiencia en el sistema de enfriamiento. 5.- Daños al compresor. 6.- Fugas de propano en el compresor. 7.- Posible explosión e incendio. 8.- Envío de propano a desfogue. 9.- Contaminación ambiental. 10.- Paro de planta.	4	3	C
Falla del compresor 5K-1A/B.	1.- Deficiencia en el sistema de enfriamiento. 2.- Paro de planta.	4	3	C
BAJO NIVEL				
Falla del lazo de control 5LIC-115 cerrando automática.	1.- Deficiencia en el sistema de enfriamiento. 2.- Alto nivel en el 5C-29. 3.- Arrastre de líquido a la succión del compresor 5K-1A/B. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas en el compresor. 6.- Posible incendio. 7.- Paro de planta.	4	2	B
Purga abierta en el 5C-45.	1.- Formación de nube explosiva. 2.- Posible incendio. 3.- Paro de planta.	3	2	C



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Falla del lazo de control 5LIC-116 abriendo automática.	1.- Alto nivel en el 5C-44. 2.- Deficiencia en el sistema de enfriamiento de parafina. 3.- Arrastre de líquido al 3er. paso del compresor 5K-1A/B. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas en el compresor. 6.- Posible incendio. 7.- Paro de planta.	4	3	C
ALTA PRESIÓN				
Falla del lazo de control 5FRC-86/186/184/128 cerrando automática.	1.- Cavitación del compresor. 2.- Alta vibración del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Menos flujo de carga de propano. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Paro de planta.	4	3	C
Taponamiento de pichanchas en la succión del compresor.	1.- Cavitación del compresor. 2.- Alta vibración del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Menos flujo de carga de propano. 5.- Deficiencia en el enfriamiento. 6.- Paro de planta.	4	3	C
ALTA PRESIÓN EN LA DESCARGA				
Pérdida del sello líquido del 5C-29.	1.- Represionamiento en succión del compresor. 2.- Alto nivel en el 5C-45. 3.- Alta vibración del compresor 5K-1A/B. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas por bridas y conexiones. 6.- Formación de nube explosiva. 7.- Deficiencia en el enfriamiento. 8.- Paro de planta.	4	2	B
Falla del lazo de control 5LCH-127 cerrando automática.	1.- Baja presión en la succión del compresor. 2.- Cavitación del compresor. 3.- Daños al compresor. 4.- Fugas de propano. 5.- Posible incendio. 6.- Envío de propano a desfogue. 7.- Deficiencia del enfriamiento y paro de planta.	3	3	D



<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
<i>MENOS PRESIÓN</i>				
Calzada la 5PSV-86.	1.- Envío de propano a desfogue. 2.- Contaminación ambiental. 3.- Deficiencia en el enfriamiento. 4.- Cavitación del compresor. 5.- Posibles daños al compresor. 6.- Paro de planta.	3	3	D
Fuga por línea de vapores del 5C-45.	1.- Formación de nube explosiva. 2.- Explosión e incendio. 3.- Paro de planta.	3	2	C
Bajo nivel en el 5C-45.	1.- Alto nivel en el 5C-44. 2.- Arrastre de líquido a la succión del 3er paso del compresor. 3.- Deficiencia en el enfriamiento. 4.- Daños al compresor. 5.- Fugas de propano. 6.- Posible incendio. 7.- Paro de planta.	3	2	C
<i>CORROSIÓN</i>				
Presencia de azufre en el propano.	1.- Adelgazamiento de equipo, líneas y niples. 2.- Picadura de equipos, líneas y niples. 3.- Fugas de propano. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible incendio. 6.- Paro de planta.	3	3	D
Corrosión exterior por presencia de humedad.	1.- Adelgazamiento de equipo, líneas y niples. 2.- Picadura de equipos, líneas y niples. 3.- Fugas de propano. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible incendio. 6.- Paro de planta.	4	3	C



**NODO 4
ACUMULADORES DE PROPANO 5C-31/33/35 Y ENFRIADORES DE CARGA CON
PROPANO: 5E-7/12/17(LADO TUBOS).**

MÁS NIVEL EN EL 5C-31/33/35

<i>CAUSA Y/O FUNDAMENTO</i>	<i>CONSECUENCIA</i>	<i>G</i>	<i>F</i>	<i>R</i>
Falla de la cascada 5PRC-112/114/116/5TRC-14/17/20 cerrando automática.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Represionamiento en los acumuladores de propano 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-40. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6.- Fuera de operación el enfriador 5E-7/12/17.	5	3	B
Falla del lazo de control 5LIC-34/37/40 abriendo automática.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Represionamiento en los acumuladores de propano 5C-31/33/35. 3.- Más nivel en el 5C-40. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6.- Fuera de operación el enfriador 5E-7/12/17.	3	3	D
Taponamiento en la línea de propano al enfriador 5E-7/12/17.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Represionamiento en los acumuladores de propano 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-40. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6.- Fuera de operación el enfriador 5E-7/12/17.	3	3	D
MENOS NIVEL EN EL 5C-31/33/35				
Falla del lazo de control 5LIC-34/37/40 cerrando automática.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Fuera de operación el enfriador 5E-7/12/17.	4	4	D
Purga de propano abierta.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Formación de nube explosiva. 3.- Posible incendio. 4.- Fuera de operación el enfriador 5E-7/12/17.	3	2	C



CAUSA Y/O FUNDAMENTO	CONSECUENCIA	G	F	R
<i>MÁS PRESIÓN EN EL 5C-31/33/35</i>				
Falla de la cascada 5PRC-112/114/116/5TRC-14/17/20 cerrando automática.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Alto nivel en los acumuladores 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-44. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6- Fugas por bridas y conexiones. 7.-Formación de nube explosiva. 8.- Posible incendio. 9.- Paro de planta.	4	3	C
Taponamiento en la línea de propano al enfriador 5E-7/12/17.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Alto nivel en los acumuladores 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-44. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6- Fugas por bridas y conexiones. 7.-Formación de nube explosiva. 8.- Posible incendio. 9.- Paro de planta.	4	3	C
Falla del compresor 5K-1A/B.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Alto nivel en los acumuladores 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-44. 4.- Paro de planta.	4	3	C
Fuego externo	1.- Fugas por bridas y conexiones. 2.- Ruptura de equipo, líneas y/o niples. 3.- Explosión e incendio. 4.- Paro de planta.	2	2	C
<i>NO FLUJO A LOS ENFRIADORES 5E-7/12/17</i>				
Falla de la cascada 5PRC-112/114/116/5TRC-14/17/20 cerrando automática.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Alto nivel en los acumuladores 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-44. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6- Fugas por bridas y conexiones. 7.-Formación de nube explosiva. 8.- Posible incendio. 9.- Paro de planta.	5	3	B



CAUSA Y/O FUNDAMENTO	CONSECUENCIA	G	F	R
Taponamiento en la línea de propano al enfriador 5E-7/12/17.	1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Alto nivel en los acumuladores 5C-31/33/35. 3.- Alto nivel en el 5C-44. 4.- Envío de propano al desfogue. 5.- Contaminación ambiental. 6.- Fugas por bridas y conexiones. 7.- Formación de nube explosiva. 8.- Posible incendio. 9.- Paro de planta.	4	3	C
MENOS FLUJO A LOS ENFRIADORES 5E-7/12/17				
Alta presión en el 5C-31/33/35. 1.- Deficiencia en el enfriamiento. 2.- Fuera de operación el enfriador 5E-7/12/17.		3	3	D
ALTA TEMPERATURA				
Alta temperatura en la carga de aceite parafinoso.	1.- Represionamiento en el 5C-31, 33 y 35. 2.- Deficiencia en el enfriamiento. 3.- Alta presión en la succión del compresor.	4	2	B
CORROSIÓN				
Presencia de azufre en el propano.	1.- Adelgazamiento de equipo, líneas y niples. 2.- Picadura de equipos, líneas y niples. 3.- Fugas de propano. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible incendio. 6.- Paro de planta.	4	3	C
Corrosión exterior en presencia de humedad.	1.- Adelgazamiento de equipo, líneas y niples. 2.- Picadura de equipos, líneas y niples. 3.- Fugas de propano. 4.- Formación de nube explosiva. 5.- Posible incendio. 6.- Paro de planta.	4	3	C

NOTA:

G: Gravedad

F: Frecuencia

R: Riesgo

La recomendaciones surgidas del análisis HazOp al Sistema de Enfriamiento con Propano se en listan en el capítulo IV.



3.3 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

3.3.1 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO PARA EL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

La descripción y puntos para realizar un Árbol de Fallas se explicó en el capítulo anterior (punto 2.4.2).

Se seleccionó un escenario para realizar el Análisis de Árbol de Fallas, de acuerdo al resultado del análisis HazOp del Sistema de Enfriamiento con Propano, ya que presenta un riesgo alto. El escenario es:

➤ *Falla en el compresor de propano 5K-1A/B.*

Del escenario aquí descrito, se desea mostrar la sucesión de causas o eventos que desencadenarían al evento culminante de la falla en el compresor de propano **5K-1A/B**. No porque haya ocurrido, ya que se revisó el registro de incidentes y accidentes de la planta y no se tiene registro de que haya ocurrido, pero representa un riesgo alto en caso de falla para el personal y demás equipo de la planta. A continuación se describe el escenario.

Tabla 3.12 Descripción del escenario: falla en el compresor de propano 5K-1A/B.

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS		
ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
<i>Falla en el compresor de propano 5K-1A/B.</i>	Puede fallar el compresor por fallas en el condensador de superficie, falla en el mantenimiento de instrumentos, (ya que su instrumentación está obsoleta), falla en el aceite de lubricación, falla en el suministro de vapor en la turbina y alta vibración del mismo. Esto se puede provocar desde una planeación inadecuada de mantenimiento preventivo, ya sea por falta de refacciones, hasta por mala operación enviando líquido a la succión del compresor.	Las consecuencias inmediatas van desde el paro de planta, debido a que ya no se podría enfriar la carga, ni el solvente ni el gas inerte; hasta una explosión, afectaciones severas al compresor, a la planta y a las personas cercanas al lugar del incidente.



3.3.2 CRITERIO PARA LA ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES A LOS EVENTOS BÁSICOS EN UN ÁRBOL DE FALLAS

El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos en un árbol de fallas es el siguiente.

Tabla 3.1. Valores de probabilidad en función de la frecuencia con que ocurren los eventos.⁽¹⁰⁾

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

3.3.3 DIAGRAMAS DE ÁRBOL DE FALLAS

Primero se construye el Árbol de Fallas considerando todas las posibles causas que pudieran llevar al evento culminante, y posteriormente se asigna probabilidades para el cálculo de la probabilidad del evento culminante. La tabla 3.14 muestra los diagramas representativos del Árbol de Fallas que representan el análisis del escenario descrito anteriormente:

Los tres primeros diagramas (FTA-U5-01/02/03) representa el Árbol de Fallas en su parte inicial, donde se describen todas las causas intermedias y su descripción hasta desencadenar a las causas básicas que podrían llevarnos al evento culminante.

Los dos siguientes diagramas (FTA-U5-04/05) son el resultado obtenido después de que se aplicó el Álgebra de Boole, ya que con este se obtuvo la ecuación de probabilidad de ocurrencia de nuestro escenario para llegar al evento culminante.



Tabla 3.14 Relación de diagramas de Árbol de Fallas.

NUM. DIAG.	NOMBRE
FTA-U5-01(1/3)	Diagrama de Árbol de Fallas de falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (inicial o sin reducir).
FTA-U5-01(2/3)	Diagrama de Árbol de Fallas de falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (inicial o sin reducir).
FTA-U5-01(3/3)	Diagrama de Árbol de Fallas de falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (inicial o sin reducir).
FTA-U5-02 (1/2)	Diagrama de Árbol de Fallas de falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (Reducido).
FTA-U5-02 (2/2)	Diagrama de Árbol de Fallas de falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B (Reducido).

3.3.4 OBTENCIÓN DE LA ECUACIÓN DE PROBABILIDAD DE OCURRENCIA

Del Árbol de Fallas se obtiene una ecuación para resolver la probabilidad de ocurrencia del evento culminante (**T**), en función de las causas básicas y no desarrolladas. Con la probabilidad resultante (**P**) podemos definir la frecuencia (**F**) con que se puede esperar el evento culminante

3.3.4.1 ECUACIÓN DE PROBABILIDAD

La ecuación inicial del Árbol de Fallas para la falla en el compresor de propano 5K-1A/B fue la siguiente:

$$T = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$$

Aplicando el álgebra de Boole y realizando las sustituciones correspondientes se obtuvo la reducción del Árbol de Fallas y la siguiente ecuación de probabilidad:

$$T = (B_1 + B_{11} + B_{12} + B_{18} + B_{20} + B_{21} + B_{22}) + (B_2 + B_3 + B_4) + (B_5A + B_{13} + B_{14} + B_{15} + B_{16} + B_{18} + B_{23} + B_{24} + B_{30} + B_{31} + B_{32}) + (B_{17} + B_{18} + B_{25} + B_{26} + B_{27} + B_{33} + B_{34} + B_{35}) + (B_{5B} + B_6 + B_7 + B_8 + B_9 + B_{10} + B_{11} + B_{19} + B_{26} + B_{27})$$

$$T = B_1 + B_{11} + B_{12} + B_{18} + \sum_{i=20}^{22} B_i + \sum_{i=2}^4 B_i + B_5A + B_{18} + B_{23} + B_{24} + \sum_{i=13}^{16} B_i + \sum_{i=30}^{33} B_i + B_7 + B_{17} + B_{18} + B_{25} + B_{26} + \sum_{i=33} B_i + B_5B + B_{19} + B_{26} + B_{27} + \sum_{i=6} B_i$$



3.3.5 RESULTADOS DEL ÁRBOL DE FALLAS

Falla en el Compresor de Propano 5K-1A/B.

En la tabla 3.15 se enlista la descripción, y los valores de probabilidad y de frecuencia, para cada evento (suceso o causa) básico y no desarrollado del Árbol de Fallas. Donde los valores de Probabilidad (**P**) y Frecuencia (**F**) se asignaron de acuerdo al criterio mencionado en el punto 3.3.2 de este documento.

Tabla 3.15 Probabilidad y frecuencia de los eventos básicos y no desarrollados.

Eventos Básicos y No Desarrollados	Descripción	P	F
B ₁	Falla en el sistema de vacío.	1E-05	Poco probable.
B ₂	Procedimiento de mantenimiento inadecuado a instrumentos.	1E-02	Muy probable.
B ₃	Procedimiento de mantenimiento no aplicado correctamente a instrumentos.	1E-02	Muy probable.
B ₄	Refacciones inadecuadas.	1E-02	Muy probable.
B _{5A}	Bajo nivel en el acumulador de aceite 5D-12.	1E-05	Poco probable.
B _{5B}	Falla de la bomba de transferencia de propano 5GM-28.	1E-03	Probable.
B ₆	Alto nivel en el 5C-29.	1E-05	Poco probable.
B ₇	Alto nivel en el 5C-22/44/45.	1E-05	Poco probable.
B ₈	Alta temperatura en el flujo de propano.	1E-05	Poco probable.
B ₉	Que quede calzada la PSV-88 del separador para succión 5C-40.	1E-05	Poco probable.
B ₁₀	Bajo flujo en algún pasó de propano a la succión del 5K-1 A/B.	1E-05	Poco probable.
B ₁₁	Purga de 2" abierta en la succión del compresor.	1E-04	Probable.
B ₁₂	Bloqueo cerrado en la salida de condensado.	1E-04	Probable.
B ₁₃	Fallas en las especificaciones de diseño.	1E-06	Poco probable.
B ₁₄	Fallas detectadas no corregidas en el sistema de lubricación.	1E-05	Poco probable.
B ₁₅	Aceite de lubricación muy sucio.	1E-06	Poco probable.
B ₁₆	Mantenimiento a filtros M. A. A.	1E-04	Probable.
B ₁₇	Mantenimiento al controlador de velocidad M. A. A.	1E-04	Probable.
B ₁₈	Falla en la supervisión de operación.	1E-05	Poco probable.
B ₁₉	Mantenimiento preventivo a válvulas M. A. A.	1E-04	Probable.



Tabla 3.15 Continuación.

Eventos Básicos y No Desarrollados	Descripción	P	F
B ₂₀	Mantenimiento preventivo a bombas 5GM-31 A/B M. A. A.	1E-04	Probable.
B ₂₁	Falla de aire de instrumentos.	1E-05	Poco probable.
B ₂₂	Mantenimiento a instrumentos M. A. A.	1E-05	Poco probable.
B ₂₃	Mantenimiento Preventivo a bombas 5G-61 A/B M. A. A.	1E-04	Probable.
B ₂₄	Mantenimiento a sellos y conexiones M. A. A.	1E-04	Probable.
B ₂₅	Mantenimiento al gobernador M. A. A.	1E-04	Probable.
B ₂₆	Falta de entrenamiento al personal de mantenimiento.	1E-05	Poco probable.
B ₂₇	Entrenamiento inadecuado al personal de operación.	1E-04	Probable.
B ₂₈	Cualquier bloqueo cerrado a la succión de bomba 5GM-31 A/B..	1E-05	Poco probable.
B ₂₉	Obstrucción de la pichancha 5GM-31 A/B.	1E-03	Probable.
B ₃₀	Planeación inadecuada del Manto. a bomba 5G-61 A/B.	1E-04	Probable.
B ₃₁	Fallas mecánicas detectadas no corregidas.	1E-05	Poco probable.
B ₃₂	Obstrucción en la pichancha de la bomba 5G-61 A/B	1E-03	Probable.
B ₃₃	Mantenimiento al compresor M.A.A.	1E-04	Probable.
B ₃₄	Planeación inadecuada del Mantenimiento. al compresor.	1E-04	Poco probable.
B ₃₅	Fallas detectadas no corregidas en el compresor	1E-03	Probable.

*M.M.A = mantenimiento menor al adecuado

En la tabla 3.16 se enlista la descripción, y los valores de probabilidad y de frecuencia, para cada evento (suceso o causa) intermedio del árbol de fallas. Donde los valores de Probabilidad (P) y Frecuencia (F) resultaron de la suma o multiplicación de los eventos básicos o no desarrollados descritos anteriormente según las puertas lógicas “Y” y “O”, de acuerdo al diagrama de árbol de fallas.



Tabla 3.16 Probabilidad y frecuencia de los eventos intermedios.

Eventos Intermedios	Descripción	P	F
M ₁	Falla en el condensador de superficie 5E-70 de la turbina 5K-1 A/B.	1,25E-03	Probable.
M ₂	Falla en el mantenimiento de instrumentos.	3,00E-02	Muy probable.
M ₃	Falla en el aceite de lubricación.	1,75E-03	Probable.
M ₄	Falla en el suministro de vapor de la turbina 5K-1 A/B.	1,64E-03	Probable.
M ₅	Alta vibración en el compresor 5K-1 A/B.	4,85E-03	Probable.
M ₆	Alto nivel de condensado en el 5E-70.	1,24E-03	Probable.
M ₇	Falla en la bomba de aceite 5G-61 A/B.	1,52E-03	Probable.
M ₈	Fugas en el sistema de lubricación.	1,12E-04	Probable.
M ₉	Taponamiento en los filtros 5P-21 A/B.	1,01E-04	Probable.
M ₁₀	Falla en el gobernador.	1,42E-03	Probable.
M ₁₁	Falla en el controlador de velocidad 5SCL-17/18.	2,20E-04	Probable.
M ₁₂	Presencia de propano líquido en la succión del compresor.	2,00E-05	Poco probable.
M ₁₄	Baja presión en la succión del compresor 5K-1 A/B.	1,20E-04	Probable.
M ₁₅	Mas presión en la descarga del compresor 5K-1 A/B.	1,21E-03	Probable.
M ₁₆	Fallas en las bombas de condensado 5GM-31 A/B.	1,11E-03	Probable.
M ₁₇	Falla en el 5LC-100 cerrando automática en la salida de condensado.	3,00E-05	Poco probable.
M ₁₉	Falla mecánica de la bomba 5G-61 A/B.	1,11E-04	Probable.
M ₂₁	Falla mecánica del gobernador.	1,31E-03	Probable.
M ₂₂	Falla en la capacitación del personal.	1,10E-04	Probable.
M ₂₃	Cavitación de la bomba 5GM-31 A/B.	1,01E-03	Probable.
M ₂₄	Vibración excesiva en la bomba 5G-61 A/B.	2,10E-04	Probable.
M ₂₅	Vibración excesiva del compresor 5K-1 A/B.	1,20E-03	Probable.
M ₂₇	Obstrucción de la válvula check o algún bloque cerrado a la descarga.	2,10E-04	Probable.
M ₂₈	Instalación inadecuada de la bomba 5G-61 A/B.	1,10E-09	No se ve probabilidad de que ocurra.

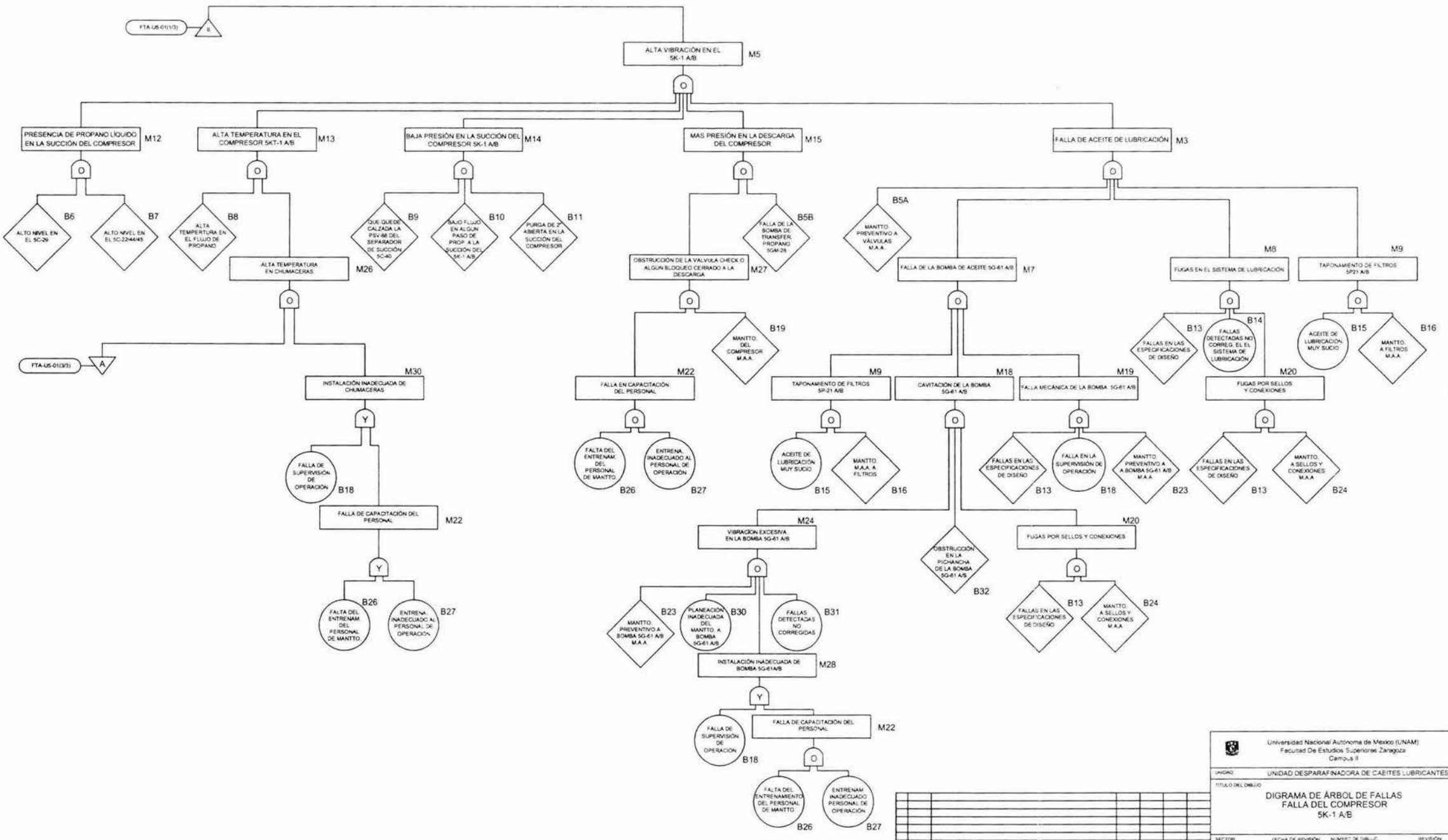


En la tabla 3.17 se da el resultado obtenido del Árbol de Fallas realizado al compresor de propano 5K-1 A/B de acuerdo a la aplicación de la técnica descrita en el capítulo anterior

Tabla 3.17 Probabilidad y frecuencia del evento culminante.

Evento Culinante	Descripción	P	F
T	Falla en el Compresor de Propano 5K-1 A/B.	3.47E-02	Muy probable

Las conclusiones de este resultado se darán en el capítulo 4.

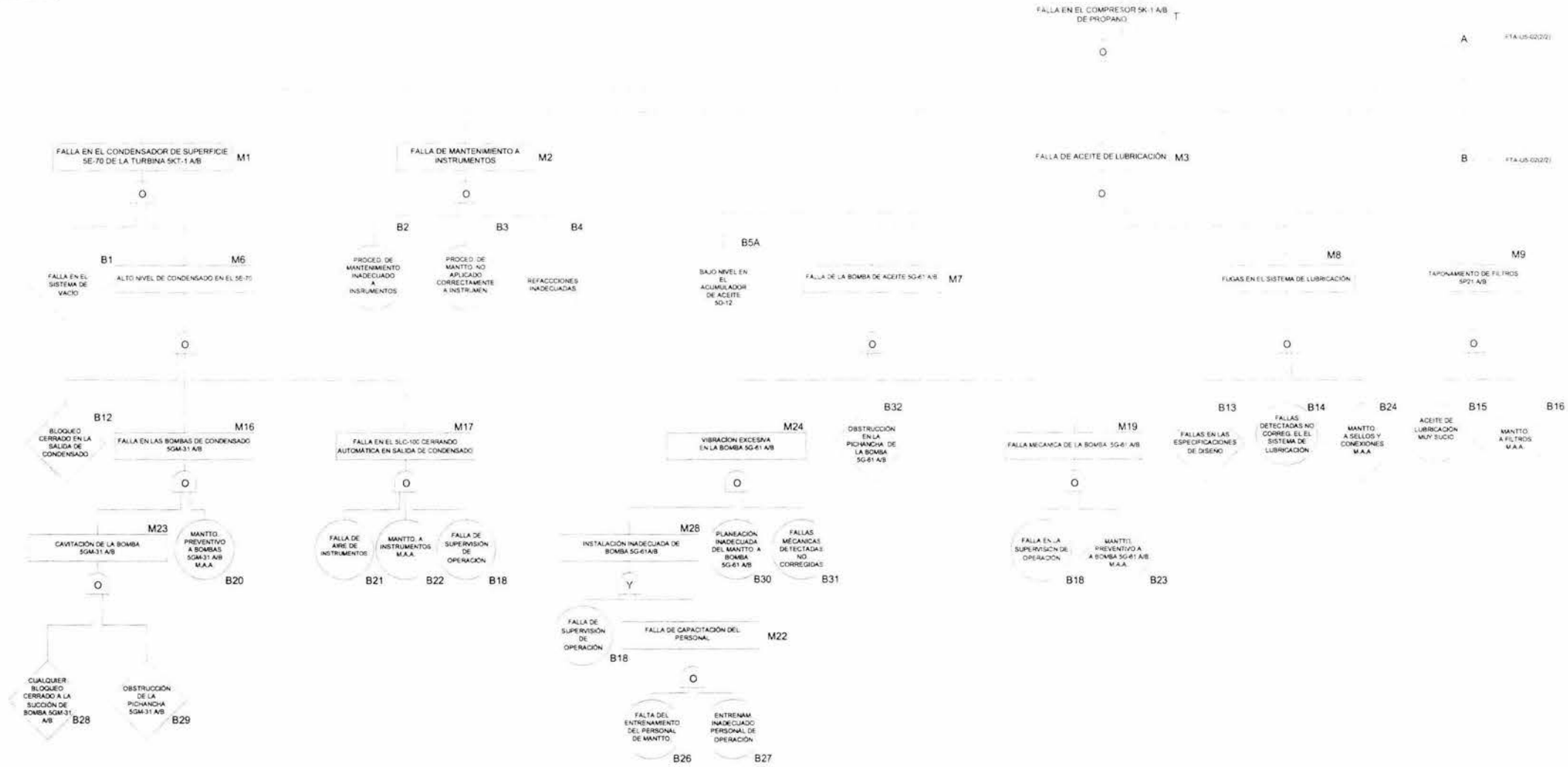


Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
 Campus II

UNIDAD: UNIDAD DESPARAFINADORA DE CAJETES LUBRICANTES
 TÍTULO DEL DIBUJO: DIGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS FALLA DEL COMPRESOR 5K-1 A/B

SECCION	FECHA DE REVISIÓN	NÚMERO DE DIBUJO	REVISIÓN
2 NORTE	NOV 2003	FTA-US-01 (2/3)	1

PAGINA: 69



NOVIEMBRE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
REV. FECHA	DESIGNADOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR	REVISOR


 Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad De Estudios Superiores Zaragoza
 Campus II

UNIDAD DESPARAFINADORA DE CAJETES LUBRICANTES

TITULO DEL DIBUJO:
**DIGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS
 FALLA DEL COMPRESOR
 SK-1 A/B**

SECTOR:	FECHA DE REVISIÓN:	NUMERO DE DIBUJO:	REVISIÓN:
2 NORTE	NOV 2003	FTA-U5-02 (1/2)	1

PÁGINA: 71



3.4. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC)

3.4.1 EVALUACIÓN DE EFECTOS DE INCENDIO, EXPLOSIÓN Y DERRAME EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO DE LA PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES

Incendios, fugas, derrames y explosiones, son los tipos de accidentes más frecuentes en la industria química, seguido por las emisiones de sustancias tóxicas. Desde el punto de vista del análisis de riesgos, la evaluación de consecuencias de incendios y explosiones, requiere el conocimiento de datos que definan el escenario en el cual ocurre el incendio o la explosión. Para ello, se necesita saber cuanto material dentro de los límites de inflamabilidad existe en una nube en el momento de la explosión, o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado.

En esta parte del estudio de análisis de riesgos, se presentan los resultados de la evaluación de efectos de incendio y explosión de dos escenarios de accidentes, los cuales fueron considerados como de alto riesgo. Estos escenarios fueron identificados durante la realización del análisis HazOp, y se revisaron para identificar los eventos más críticos de la planta.

Para evaluar los efectos de incendio y explosión en el Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites, se utilizó un software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, conocido como **PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool), versión 6.0**.

La selección de este software fue en base a que es aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (**INE**) y las compañías reaseguradoras; en los Estados Unidos, por la Agencia de Protección Ambiental (**EPA**) y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (**OSHA**), para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgos.

Este programa cuenta con diversos modelos matemáticos que simulan las consecuencias del riesgo generado, por determinado escenario de interés.

Los *modelos matemáticos* simulan la descarga de materiales, generando información muy útil para determinar las consecuencias de suscitarse un accidente, incluyendo la velocidad de descarga del material, la cantidad total que es descargada y el estado físico del material descargado. Esta información es valiosa para evaluar el diseño de nuevos procesos y en el caso de procesos en operación, evalúa los sistemas de seguridad existentes en la instalación. Los modelos están constituidos por ecuaciones empíricas o fundamentos que representan el proceso fisicoquímico que ocurre durante la descarga de un material. Frecuentemente los resultados son sólo estimados desde las propiedades físicas, por lo que la mayoría de los modelos tienden a maximizar la tasa de descarga y la cantidad descargada. Esto asegura que la modelación es adecuada.



3.4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS DE ACCIDENTES

Los escenarios fueron seleccionados de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis HazOp del Sistema de enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes y de acuerdo a los daños que pueden causar al personal, a las instalaciones y equipo de la planta, y al medio ambiente en caso de que se llegara a presentar el accidente. En la tabla 3.14. Se describen los escenarios propuestos.

Tabla 3.18 Escenarios de accidentes para el AC del Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes.

TIPO DE ESCENARIO	CAUSA Y FUNDAMENTO	EFECTOS			MODELO DE EFECTOS USADO
		RT	OP	T	
1. Ruptura por sobrepresión del acumulador de propano, 5C-29.	Corrosión avanzada en el recipiente, falla de la 5PSV-93, así como fuego en las inmediaciones del tanque.	X	X		Explosión (BLEVE).
2. Ruptura en la descarga del compresor de propano, 5K-1 A/B	Alta presión en la descarga del compresor originada por falla del gobernador de la turbina 5KT-1 A/B abriendo la válvula de vapor, falla de agua de enfriamiento a los 5E-68 A/B y alta temperatura en el agua de enfriamiento del compresor. La ruptura también puede ser causada por corrosión.	X	X		Dardo de fuego (Jet Fire) y Flamazo (Flash Fire).

RT: Radiación Térmica

OP: Onda de Presión.

T: Dispersión de sustancia toxica.

3.4.3 DATOS REQUERIDOS PARA CADA MODELO

En la tabla 3.19 se describen los datos que se requieren para realizar el Análisis de Consecuencias (simulación) de los escenarios seleccionados.



Tabla 3.19 Datos de requeridos para cada escenario.

ESCENARIO	DATOS INICIALES	
	PARÁMETROS DE OPERACIÓN	PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS SUSTANCIAS INVOLUCRADAS
1. Ruptura por sobrepresión del acumulador de propano 5C-29.	$T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P = 213\text{ psig (14.98 kg/cm}^2\text{)}$ Inventario = 10,000 Kg.	Estos datos los calcula el programa PHAST cuando se define la mezcla o el compuesto en estudio. Se hace el modelamiento con una mezcla en la siguiente proporción: (Nota 1) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Propano, 89 % mol. ▪ Propileno, 9.6 % mol. ▪ Isobutano, < 1% mol. ▪ n-Butano, < 1% mol. Peso molecular: 44.09 g/mol.
2. Ruptura en la descarga del compresor de propano 5K-1 A/B.	$T = 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ $P = 213.4\text{ psig (15 Kg/cm}^2\text{)}$ Inventario = 10,000 Kg	Estos datos los calcula el programa PHAST cuando se define la mezcla o el compuesto en estudio. Se hace el modelamiento con una mezcla de gases en la siguiente proporción: (Nota 1) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Propano, 89 % mol. ▪ Propileno, 9.6 % mol. ▪ Isobutano, < 1% mol. ▪ n-Butano, < 1% mol. Peso molecular: 44.09 g/mol.

Nota 1: Datos de laboratorio, proporcionados por R.I.A.M.A.

3.4.4 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN

A continuación, se describen las consideraciones para la simulación y obtención de resultados del Análisis de Consecuencias:

1. Para la generación de eventos se utilizaron las siguientes fuentes:
 - a) Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HazOp.
 - b) El registro de incidentes y accidentes en el Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes.
2. Las composiciones de las mezclas generadas para este estudio, fueron tomadas de las bases de diseño de la planta, bajo las condiciones de operación.



Adicionalmente, para realizar las simulaciones en el software PHAST se tomaron las siguientes consideraciones:

- a) El orificio formado por corrosión en bridas, sellos de las válvulas y en las líneas analizadas es de forma regular y de un diámetro determinado. El diámetro equivalente del orificio varía desde 3.17 mm (0.125") hasta 12.70 mm (0.5"); para todos los escenarios se considera una fuga de 0.5" por corrosión o daños a la estructura.
- b) Se contempló un tiempo máximo para la detección y control de la fuga de 15 minutos, tomando en cuenta las siguientes consideraciones: tiempo máximo para la detección del evento por parte del personal de PEMEX y tiempo que ocupa el personal de mantenimiento u operación para llegar al lugar exacto de la fuga y controlarla.
- c) Se consideraron tres condiciones ambientales: en la primera se consideró una velocidad del viento de **1.7 m/s** con estabilidad ambiental clase **F** por ser las condiciones meteorológicas para el peor escenario, de acuerdo con el INE y con el "RMP Offsite Consequence Analysis" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA); en la segunda se utilizó la velocidad del viento promedio de la región de **2.4 m/s**, con estabilidad ambiental clase **D** por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo y como tercera condición se utilizó la velocidad de **2.9 m/s** con estabilidad ambiental clase **D**, por ser las características máximas de la región.
- d) Se consideró una temperatura ambiental media del área de 16 °C y una humedad relativa media anual de 54%.
- e) Los radios que se presentan en caso de un evento de antorcha o chorro de fuego, se determinaron a partir de la evaluación de diferentes flujos térmicos y de los diferentes niveles de sobrepresión los cuales se indican a continuación.

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

3.4.4.1 NIVELES DE RADIACIÓN Y NIVELES DE SOBREPRESIÓN

A continuación se describen los niveles de radiación que se consideraron en la simulación de cada escenario (tabla 3.20).

Tabla 3.20 Niveles de radiación.⁽⁹⁾

RADIACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.4 kW/m ² (443 BTU/h/ft ²)	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este límite se considera como zona de seguridad .
5.0 kW/m ² (1 585 BTU/h/ft ²)	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2º grado sin la protección adecuada. Esta radiación será considerada como límite de zona de amortiguamiento
12.5 kW/m ² (3 963 BTU/h/ft ²)	Es la energía mínima requerida para la ignición piloteada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 100% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como zona de alto riesgo

A continuación se describen los niveles de *sobrepresión* que se consideraron en la simulación de cada escenario (tabla 3.21).

Tabla 3.21. Niveles de sobrepresión⁽⁹⁾.

PRESIÓN	DESCRIPCIÓN
0.5 lb/pulg ² (.035 kg/cm ²)	La sobrepresión a la que se presentan rupturas del 10% de ventanas de vidrio y algunos daños a techos; este nivel tiene la probabilidad del 95% de que no ocurran daños serios. Esta área se considerará como límite de la zona de salvaguarda
1 lb/pulg ² (.070 kg/cm ²)	Es la presión en la que se presenta destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios; provoca el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles. De 0,5 a 1 lb/pulg ² se considerará como la zona de amortiguamiento
2 lb/pulg ² (0.14 kg/cm ²)	A esta presión se presenta el colapso parcial de techos y paredes de casas. De 1 a 2 lb/pulg ² se considera como la zona de exclusión (riesgo)

3.4.5 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS (AC) EN EL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO DE LA PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES

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



3.4.5.1 RESULTADOS DEL ESCENARIO No. 1 RUPTURA POR SOBREPRESIÓN DEL ACUMULADOR DE PROPANO 5C-29

Si bien parece remota la ruptura del acumulador 5C-29, dado que su presión de diseño proporciona un amplio margen de seguridad respecto a la presión de operación, se podría llegar a este escenario por una serie de factores, como corrosión avanzada en el recipiente, falla de la válvula de seguridad 5PSV-93 (que no actúe), así como fuego en las inmediaciones del tanque. La ruptura catastrófica del tanque releva en un instante una masa de la mezcla de propano del orden de 10,000 Kg, considerando un nivel de líquido en el tanque del 25%. Al momento de la ruptura, la masa liberada alcanza una velocidad de 242.4 m/s, una temperatura final de -51.36 °C, y un tamaño de gota de 0.07 mm. Estas condiciones, al encontrar un punto de ignición, generan una Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición (*BLEVE*), cuyos radios de afectación para los niveles de radiación antes descritos, se describen a continuación:

Tabla 3.22. Nivel de radiación *BLEVE*.

Vel. del viento/Clase		<i>BLEVE</i>		
		1.4 kw/m ²	5 kw/m ²	12.5 kw/m ²
		Radio (m)	Radio (m)	Radio (m)
CATEGORÍAS DE ACUERDO AL INE	1.7 m/s, F	683.98	373.05	237.36
	2.4 m/s, D	668.78	365.49	234.03
	2.9 m/s, D	656.49	361.66	231.57

Estos radios de afectación por radiación de la explosión *BLEVE*, categoría 2.4 m/s D, se presentan en el diagrama AC-U5-01.

Por otra parte en la tabla 3.23 se presentan los radios de afectación de las ondas de sobrepresión para la ignición temprana (Early Ignition) y en la tabla 3.24 se representan los radios de afectación de las ondas de sobrepresión para la ignición tardía (Late Ignition). Estos radios de afectación se encuentran representados en el diagrama AC-U5-02 y AC-U5-03 respectivamente.



Tabla 3.23 Ignición temprana (Early Ignition).

ONDAS DE PRESIÓN		IGNICIÓN TEMPRANA		
		0.5 psi	1.0 psi	2.0 psi
Vel. Del viento/Clase		Radio (m)	Radio (m)	Radio (m)
CATEGORÍAS DE ACUERDO AL INE	1.7 m/s, F	480.47	292.51	184.35
	2.4 m/s, D	480.47	292.51	184.35
	2.9 m/s, D	480.47	292.51	184.35

Tabla 3.24 Ignición tardía (Late Ignition).

ONDAS DE PRESIÓN		IGNICIÓN TARDÍA		
		0.5 psi	1.0 psi	2.0 psi
Vel. del viento/Clase		Radio (m)	Radio (m)	Radio (m)
CATEGORÍAS DE ACUERDO AL INE	1.7 m/s, F	407.35	247.99	156.29
	2.4 m/s, D	409.29	249.17	150.39
	2.9 m/s, D	418.85	254.99	152.52

3.4.5.2 RESULTADOS DEL ESCENARIO No. 2

RUPTURA EN LA DESCARGA DEL COMPRESOR DE PROPANO 5K-1 A/B

Este escenario consiste en la ruptura de la línea a la descarga del compresor, la cual es de 10 plg de diámetro. Como se analizó en el estudio HazOp, dicha ruptura puede ser ocasionada por una elevación en la presión de la descarga del compresor, por vibraciones excesivas derivadas de fallas en el sistema de lubricación, así como por corrosión. Se tomó como base para la simulación la fuga de 10,000 Kg de material, que escapan a razón de 160.9 Kg/s, con una duración de la fuga de 62.15 s, a una velocidad de 240.2 m/s. Los resultados arrojan que como eventos probables se presenten: Dardo de fuego (*Jet Fire*), Flamazo (*Flash Fire*) y Explosión por Ignición Tardía (*Late Ignition*), con los siguientes radios de afectación:

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Tabla 3.25. Nivel de radiación dardo de fuego (*jet fire*).

NIVEL DE RADIACIÓN		DARDO DE FUEGO (JET FIRE)		
		1.4 kw/m^2	5 kw/m^2	12.5 kw/m^2
Vel. del viento/Clase		Distancia* (m)	Distancia* (m)	Distancia* (m)
CATEGORÍAS DE ACUERDO AL INE	1.7 m/s, F	350.29	263.60	225.74
	2.4 m/s, D	337.84	250.77	212.99
	2.9 m/s, D	330.81	243.60	205.83

* Distancia (diámetro de la elipse) hasta la que tiene efecto.

Estos radios de afectación por radiación del Dardo de fuego (*Jet Fire*), categoría 2.4 m/s D, se presentan en el diagrama AC-U5-04.

Tabla 3.26 Ondas de presión explosión por ignición tardía.

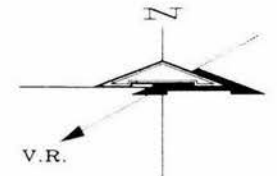
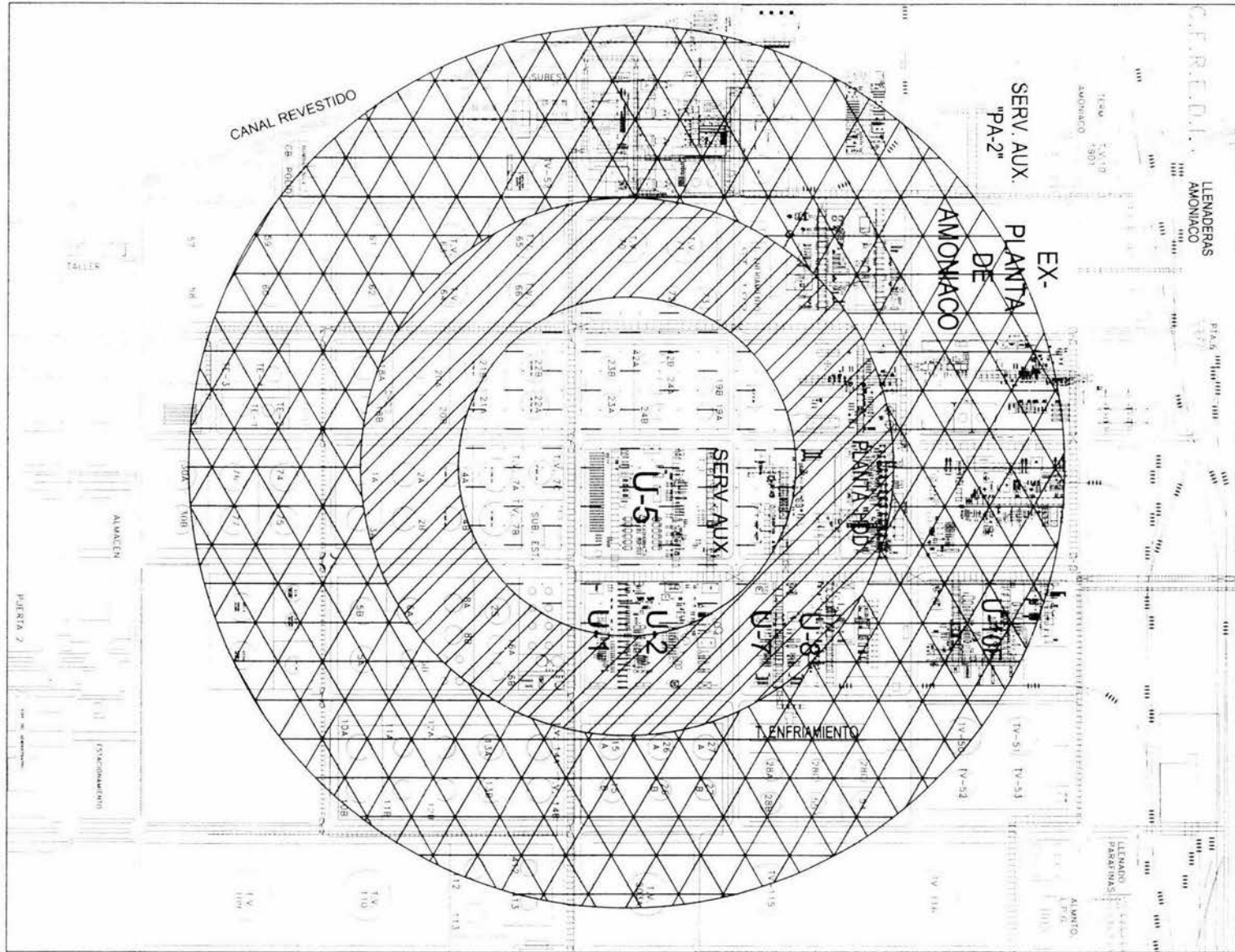
ONDAS DE PRESIÓN (sobrepresión)		EXPLOSIÓN POR IGNICIÓN TARDÍA (LATE IGNITION)		
		0.5 psi	1.0 psi	2.0 psi
Vel. del viento/Clase		Radio (m)	Radio (m)	Radio (m)
CATEGORÍAS DE ACUERDO AL INE	1.7 m/s, F	254.77	145.25	56.08
	2.4 m/s, D	237.42	136.65	50.83
	2.9 m/s, D	228.54	139.13	55.14

Estos radios de afectación por sobrepresión explosión por ignición tardía (*Late Ignition*), categoría 2.4 m/s D, se presentan en el diagrama AC-U5-05.

Tabla 3.27. Radios de afectación por concentración del flamazo (*Flash Fire*).

CATEGORÍAS DE ACUERDO AL INE.		FLAMAZO (FLASH FIRE)		
		1.7 m/s F	2.4 m/s D	2.9 m/s D
		Radio (m)	Radio (m)	Radio (m)
CONCENTRACIÓN	1.04 %	470.53	463.49	465.81
	2.08 %	210.99	188.19	161.21

Estos radios de afectación por concentración del flamazo (*Flash Fire*), categoría 2.4 m/s D, se presentan en el diagrama AC-U5-06.



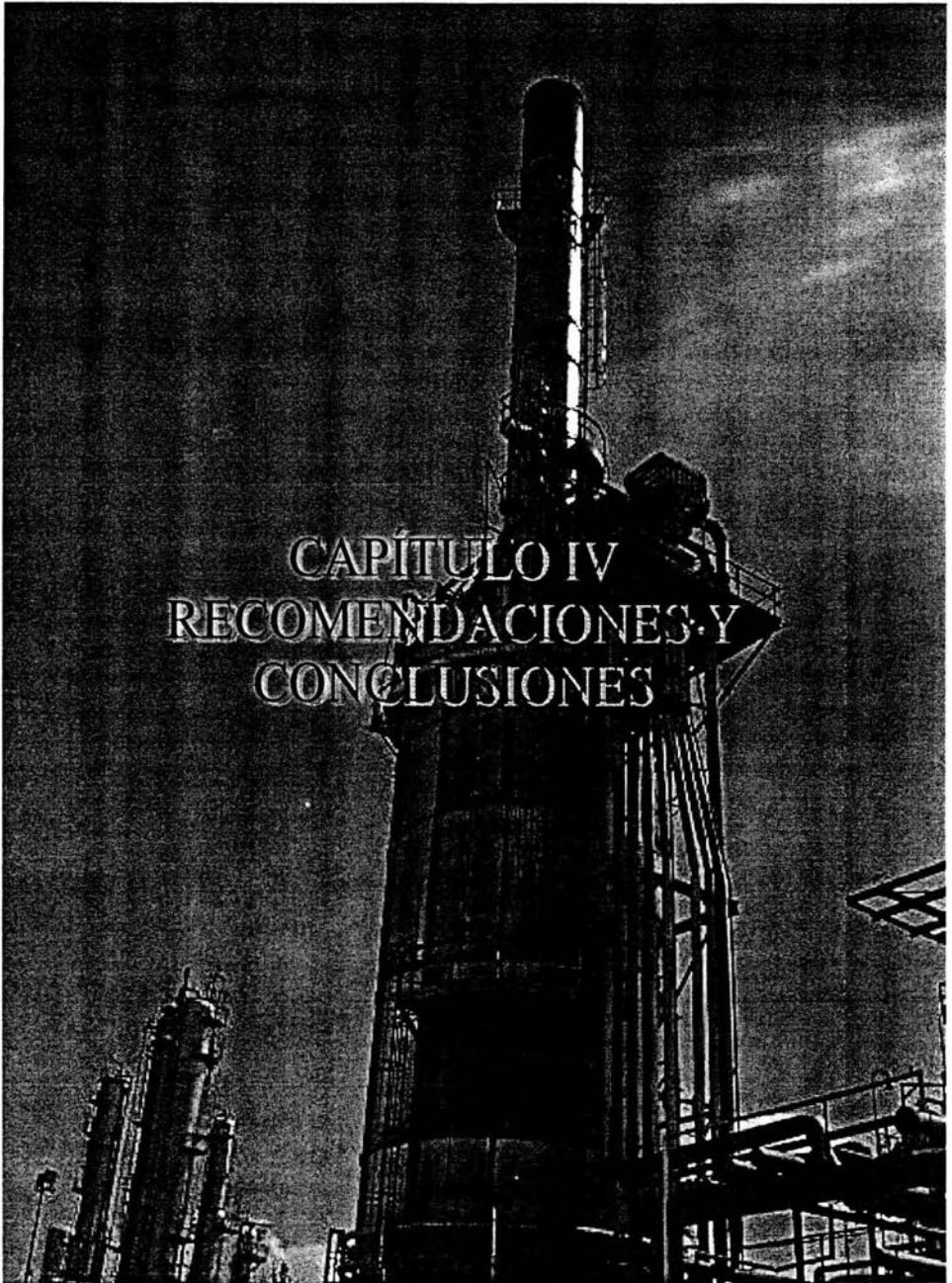
ONDAS DE SOBREPRESIÓN	RADIO (m)	NIVEL DE SOBREPRESIÓN	CATEGORÍA	ZONA
	480.47	0.5 PSI	2 40	SALVAGUARDA
	292.51	1 PSI	2 40	AMORTIGUAMIENTO
	184.35	2 PSI	2 40	EXCLUSIÓN (RIESGO)



REVISIONES		FECHA		DESCRIPCIÓN		ELABORADO		REVISADO		APROBADO	

Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad De Estudios Superiores Zaragoza
 Campus II

UNIDAD: UNIDAD DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES
 TÍTULO DEL DIBUJO: DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS RUPTURA POR SOBREPRESIÓN DEL ACUMULADOR DE PROPANO. 5C-29 ONDAS DE SOBREPRESIÓN
 SECCIÓN: 2 NORTE
 FECHA DE REVISIÓN: 28/NOV/2003
 NÚMERO DE DIBUJO: AC-U5-02
 REVISIÓN: 1





4.1. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS HAZOP PARA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES).

A continuación se presentan las recomendaciones derivadas a partir del Análisis HazOp:

Recomendaciones clase B:

- Realizar estudio para instalar un sistema instrumentado de seguridad (SIS) con detectores de gas en el área de enfriadores de carga contra propano, compresores de propano, economizadores y 5C-29 según norma DG-GPASI-SI-02720. CLASE C.
- Verificar el cumplimiento del mantenimiento preventivo de los equipos dinámicos y eléctricos.
- Realizar estudio para modernizar el sistema antisurge del compresor 5KT-1A/B que incluya las válvulas automáticas 5FRC-86V/184V/186V/128V por no contar con las refacciones adecuadas (actualmente operando por directo o manual).
- Habilitar una señal confiable del 5LI-99 en cuarto de control.
- Habilitar alarma 5LAH-78 con señal audible y visual al cuarto de control.
- Rehabilitar la cascada 5PRC-112/114/116/5TRC-14/17/20 (actualmente operando manualmente).

Recomendaciones clase C:

- Realizar un estudio de factibilidad para la instalación de un sistema de monitoreo y/o instalar una alarma de alta temperatura en el cabezal de agua de enfriamiento con señal en el cuarto de control. CLASE D.
- Instalación de alarma por alta presión en el 5C-29 audible y visual al cuarto de control, independiente de la 5PRC-173V.
- Cambiar a un gobernador del tipo configurable para la turbina del compresor 5KT-1A/B.
- Instalar un sistema de aspersores en los compresores de propano.
- Tener siempre un gobernador disponible para disminuir los tiempos muertos y evitar daños severos al compresor.
- Monitoreo de la calidad del agua de enfriamiento.
- Hacer un estudio de factibilidad para que el lazo de control 5PRC-173 sea más confiable.
- Instalar indicador de temperatura a la salida de los condensadores 5E-68 A/B/C.
- Mantener en buen estado el aislante térmico y recubrimiento anticorrosivo en líneas, niplería y piernas de nivel de los equipos economizadores.
- Independizar la alarma de acción de las válvulas de corte en los economizadores.
- Mantener todas las purgas y venteos de propano con su tapón.
- Contar con el refaccionamiento oportuno para el mantenimiento preventivo de compresor 5K-1A/B.



Recomendaciones clase D:

- Incluir los enfriadores 5E-68 A/B/C dentro del programa de reparación general de la planta.
- Habilitar el 5TIE-120.
- Incluir en el programa anual de verificación de protecciones a equipos fijos las alarmas de nivel alto y bajo (5LAL-80 y 5LAH-79) del 5E-70.

Con base en los resultados del análisis HazOp del Sistema de Enfriamiento con Propano, y sin restar importancia a las demás recomendaciones, se sugiere darle prioridad a las siguientes recomendaciones emanadas del mismo:

- Habilitar señal confiable de control de nivel LT-99 del tanque de propano 5C-29 ya que actualmente la señal esta deshabilitada en el cuarto de control y un aumento en el nivel de este puede llevar propano líquido a la succión del compresor 5K-1A/B y causar daños internos a este.
- Modernizar el tablero local de indicaciones del compresor 5K-1A/B, ya que es importante contar con un buen monitoreo de las condiciones de operación del compresor para evitar daños al mismo.
- Rehabilitar los lazos de control de presión, nivel y temperatura en el sistema de enfriamiento de carga con propano, ya que actualmente operan manualmente.
- Contar con refaccionamiento para el compresor 5K-1A/B, ya que este equipo es crítico para la operación de la planta. En caso de falla se interrumpe la operación del Sistema de Enfriamiento con Propano y ocasiona el paro de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes. Si se cuenta con este refaccionamiento se puede cumplir con los programas de rotación de equipo dinámico y de mantenimiento preventivo de compresores.

Las siguientes recomendaciones son de clase “C” y “D” para implementarse se sugiere hacer un estudio para estimar su costo y el beneficio para determinar cual de estas recomendaciones se puede aplicar, se hace énfasis en que la implementación de dichas recomendaciones daría como resultado una mejor seguridad y operabilidad en la planta:

- Realizar un estudio de factibilidad para modificar la estrategia de control de presión del recipiente 5C-29, una falla en el agua de enfriamiento represiona el recipiente y en caso de fuego la presión aumentaría rápidamente, no existe señal de presión en este recipiente en el cuarto de control por lo cual se recomienda implementarlo para tener un mejor monitoreo del nivel y evitar accidentes o en su caso reducirlos.
- Se recomienda contar con un plan de contingencia para el escenario de una fuga incontrolada de propano y así conocer, en caso de que se presente el accidente, las acciones que deben ser implementadas por el personal de la planta para eliminar el accidente.



4.2 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS PARA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES)

La falla del compresor tiene **una probabilidad de ocurrencia de $3.47 E^{-02}$** lo cual indica que es muy probable, esto significa que ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año y causar paros de la planta y pérdidas económicas.

A continuación se darán las recomendaciones derivadas del Árbol de Fallas para Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes:

- Hacer un estudio de factibilidad para actualizar la instrumentación del compresor 5K-1 A/B.
- Contar con el refaccionamiento de instrumentos y accesorios de los 5K-1 A/B.
- Seguir cumpliendo con la capacitación del personal de operación en cuanto al purgado en la succión del compresor para no olvidar cerrarla a tiempo.
- Actualizar el mantenimiento preventivo de los compresores 5K-1 A/B.
- Contar con el refaccionamiento adecuado (de sellos) para las bombas 5G-61 A/B de aceite de lubricación.
- Realizar la limpieza de pichinchas de las 5GM-31 A/B, 5G-61 A/B cuando se realice el mantenimiento preventivo de estas bombas.
- Corregir lo más pronto posible las fallas detectadas en el compresor 5K-1 A/B en cuanto a operación y mantenimiento (calibración, fugas, etc.).
- Dar mantenimiento preventivo a gobernador y al 5SCL-17/18.

4.3 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS PARA SISTEMA DE ENFRIAMIENTO CON PROPANO (PLANTA DESPARAFINADORA DE ACEITES LUBRICANTES)

De los eventos simulados en el presente análisis, el más catastrófico es el de la explosión **BLEVE** en el acumulador de propano 5C-29. Para evitar que este tipo de eventos ocurran se sugieren las siguientes recomendaciones:

- a) Para evitar picaduras o **ruptura** en el equipo debido a corrosión:
 - Realizar análisis de laboratorio del propano para determinar y controlar su nivel de corrosividad.
 - Ejecutar debidamente el programa de calibración de líneas, equipos y niplería en el Sistema de Enfriamiento con Propano y en la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes en general.
 - Seguir oportunamente el programa de inspección visual de líneas, niples, y equipos en el Sistema de Enfriamiento con Propano y en la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes en general.



- b) Para evitar sobrepresión en el acumulador:
- Aplicar adecuadamente el programa de calibración de válvulas de relevo en la válvula de relevo PSV-93.
 - Ejecutar el patrullaje operacional.
 - Vigilar el correcto funcionamiento de los lazos de control involucrados con la presión en el tanque.
- c) Para evitar el surgimiento de fuego en las inmediaciones del tanque:
- Instalar detectores de fuego y explosividad en el área del 5C-29.
 - Vigilar el correcto funcionamiento del sistema de aspersores en la zona.

Para todos los casos, es necesario realizar periódicamente simulacros, contraincendio para verificar los tiempos de respuesta a emergencias, y para corroborar el correcto funcionamiento del sistema contraincendio de la planta, y también los simulacros operacionales.

4.4 CONCLUSIONES

El análisis HazOp de un proceso, se desarrollo aplicando en una forma sistemática todas las combinaciones de las palabras guías relevantes para la planta en cuestión, en un esfuerzo para encontrar los problemas potenciales del Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricante en donde se obtuvieron un total de 15 recomendaciones clase B, 41 recomendaciones clase C, 14 recomendaciones clase D y no hubo recomendaciones clase A; esta última establece que no se necesitan modificaciones por lo menos en los seis primeros meses. Otro de los puntos esenciales es que del análisis HazOp, estableció un plan de trabajo que fue estructurado entre el personal del área que participó en el análisis y personal de la UNAM quienes coordinaron el estudio, con el fin de mejorar la protección de la planta y del medio ambiente, proporcionando una mejor calidad de vida para los operadores y la comunidad.

En el Análisis de Árbol de Fallas surgieron un total de 8 recomendaciones las cuales, si se implementaran, se tendría un mejor funcionamiento del compresor de propano 5K-1A/B, ya que se obtuvo una probabilidad de $3.47 E^{-02}$ lo que hace que sea muy probable que ocurra el evento culminante (falla en el compresor de propano 5K-1A/B). Además de que se podrán eliminar o disminuir los daños al personal, las pérdidas económicas dentro de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes por algún paro ocasionado por la falla del Sistema de Enfriamiento con Propano en caso de que se llegara a presentar el evento culminante.

El Análisis de Consecuencias proporciona información para disminuir los efectos que se producirían en caso de una explosión o ruptura de una línea de proceso del Sistema de Enfriamiento con Propano o de un recipiente que almacena un líquido peligroso, en este caso el acumulador de propano 5C-29, así como los efectos de una explosión o incendio de una nube de gas no confinada con cuantiosas pérdidas materiales y humanas, esta información es utilizada para la elaboración de planes de emergencia y de evacuación además de establecer las zonas de seguridad.



El análisis de riesgos es un estudio sistemático muy útil cuando se quiere detectar los peligrosos potenciales que pueden existir en una planta de proceso. Los objetivos del análisis en el Sistema de Enfriamiento con Propano se cumplieron al identificarse, evaluarse y cuantificar los escenarios de riesgos utilizando las técnicas de análisis de riesgos.

Se seleccionó de acuerdo a los resultados obtenidos en análisis HazOp el escenario hipotético de accidente para el Análisis de Consecuencias y se propusieron las medidas de protección para disminuir sus efectos en el personal, instalaciones, del Sistema de Enfriamiento con Propano, en la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes en general y los alrededores.

Se realizó una evaluación cualitativa de los eventos culminantes que se pudieran presentar el Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes de acuerdo a los resultados del análisis HazOp realizado, obteniéndose como resultado la evolución del evento culminante (falla en el compresor de propano 5K-1 A/B) y repropusieron las medidas de protección para disminuir sus efectos.

Se propusieron las medidas correctivas para controlar y disminuir el nivel de riesgo de acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis HazOp, Árbol de Falla y Análisis de Consecuencias del Sistema de Enfriamiento con Propano de la Planta Desparafinadora de Aceites Lubricantes y así mejorar la operabilidad del área. Obteniendo una lista de recomendaciones que al ser implementadas conforme a su prioridad, la cual fue determinada por el personal de la planta y el personal de la UNAM que realizó el análisis de riesgos, podrá mejorar el funcionamiento del Sistema de Enfriamiento con Propano y de la Planta Desparafinadora en general, así como incrementar la seguridad hacia el personal, instalaciones y medio ambiente.

La finalidad de esta tesis es proporcionar los medios necesarios al personal que trabaja en la unidad para que estos elaboren o actualicen sus programas de mantenimiento, operación y de seguridad, día con día para reducir al mínimo la ocurrencia de accidentes. Esto ayudará a mantener la política que durante muchos años PEMEX ha venido realizando de seguridad y protección al medio ambiente así como para mejorar la calidad de vida de los empleados y de la comunidad que es una de las prioridades de la empresa, intentando crear conciencia, si no la hay, de la importancia que tiene para el personal la seguridad laboral.

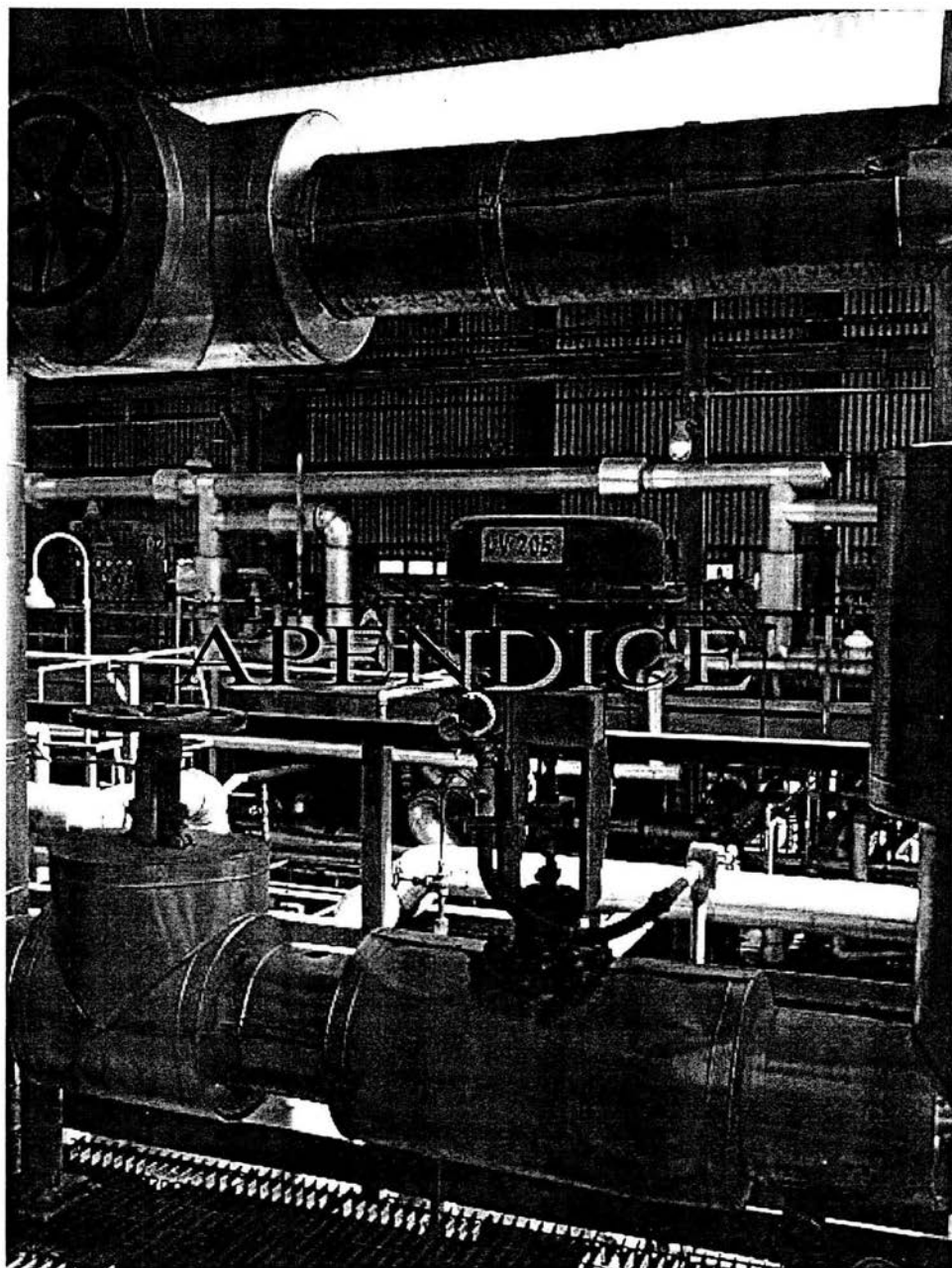
Podemos concluir que la importancia del análisis de riesgo en una planta es indispensable, ya que con este tipo de análisis podemos reducir las pérdidas de personal e instalaciones en caso de que ocurra un accidente catastrófico que pudo haber sido eliminado o reducido mediante este tipo de actividades. Siendo una herramienta para hacer cumplir con la Política Institucional de Seguridad Industrial y Protección Ambiental que PEMEX ha implementado en todas sus plantas para mantenerse y seguir siendo una empresa de vanguardia dentro del país.



APÉNDICE A

LISTA DE ABREVIATURAS

AAE	Análisis de Árbol de Eventos
FTA	Análisis de Árbol de Fallas
AC	Análisis de Consecuencias
AENOR	Agencia Española de Normalización
AMFE	Análisis de Modos de Falla y sus Efectos
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
API	<i>(American Petroleum Institute.)</i> Instituto Americano del Petróleo
APR	Análisis Preliminar de Riesgos
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing Materials</i>
BLEVE	<i>(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)</i> Explosión por Expansión del Vapor de un Líquido en Ebullición
C5/C6	Pentanos/Hexanos
CCE	Comisión de las Comunidades Europeas
CCR	Regeneración Continúa de Catalizador
CMC	Conjuntos Mínimos de Corte
DMC	Daño Máximo Catastrófico
DMP	Daño Máximo Probable
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
EPA	Agencia de Protección Ambiental
ETA	<i>Event Tree Analysis</i> (Ver AAE)
ETBE	Etil-Ter-Butil-Eter
EAR	Estudios de Análisis de Riesgo
FCC	<i>Fluid Catalytic Cracking</i>
FMEA	<i>(Failure Modes and Effects Analysis)</i> Análisis de Modos de Fallas y Efectos





FMECA	<i>(Failure Modes, Effects and Criticality Analysis)</i> Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad
FTA	<i>Fault Tree Analysis</i> (Ver AAF)
HAZOP	<i>(Hazard and Operability Studies)</i> Análisis de Peligros y Operabilidad.
IFP	Instituto Francés del Petróleo
IDLH	<i>Immediately Dangerous for Life or Health.</i>
ISO	<i>(International Standards Organization)</i> Organismo Internacional de Normalización
LGEEPA	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
LII	Límite Inferior de Inflamabilidad
MON	<i>(Motor Octane Number)</i> Número de Octano del Motor
MTBE	Metil-Ter-Butil-Eter
NFPA	<i>National Fire Protection Association.</i>
OSHA	<i>(Occupational Safety and Health Administration)</i> Oficina para la Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional
PGR	Programas de Gerencia de Riesgo
PHA	<i>(Preliminary Hazard Analysis)</i> Análisis Preliminar de Peligros
RON	<i>(Research Octane Number)</i> Número de Octano de Investigación
SIASPA	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental.
STPS	Secretaría del Trabajo y Previsión Social
TAME	Ter-Amil-Metil-Eter
TBP	<i>(True Boiling Point)</i> Temperatura de Ebullición Real
TLV	<i>(Threshold Limit Values)</i> Valores Límites Umbrales
TNT	Tri-Nitro Tolueno.
UOP	<i>Universal Oil Products</i>



APÉNDICE B

Tipo de material inflamado en incendios industriales⁽¹⁾ (% del número de casos).

a) Industrias en general.

MATERIAL	(%)
Madera o papel.	27.9
Líquidos inflamables o combustibles.	22.1
Materias químicas, metales o plásticos.	15.7
Textiles.	1.03
Productos naturales.	9.6
Gas.	6.4
Sólidos volátiles.	5.4
Materiales con aceite.	2.2
Otros tipos indeterminados o no informados.	0.4

b) Industria química.

SEGÚN ESTADO FÍSICO	(%)
Gas.	13
Vapor.	20
Líquido.	25
Sólido.	29
Desconocido.	13

HIDROCARBUROS: 29.5

SEGÚN TIPO DE MATERIAL	(%)
29.5%	
Gas.	4
Líquido/vapor.	23
Sólido.	2.5
Otros productos: 70.5%	
Líquido/vapor orgánico.	20
Sólidos orgánicos.	9
Sólidos celulósicos.	8
Hidrógeno.	9
Acero.	2.5
Azufre.	1
Desconocido.	21



APÉNDICE C

GLOSARIO

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

Atmósfera explosiva: Mezcla constituida por aire y gases, vapores, nieblas o polvos inflamables bajo condiciones atmosféricas, en proporciones tales que una temperatura excesiva, arcos, o chispas produzcan su explosión (existe un peligro real).

Daño: Es la consecuencia producida por un peligro sobre la calidad de vida individual o colectiva de las personas.

Desviación: Son desfases de la intención de diseño (flujo, presión, temperatura, Reacción, Nivel, etc.) que se descubren mediante la aplicación sistemática de las palabras guía.

Efecto Encadenado: Es la consecuencia inevitable, pero indirecta de otro accidente o circunstancia.

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

Estimación de riesgos: El proceso mediante el cual se determina la frecuencia o probabilidad y las consecuencias que puedan derivarse de la materialización de un peligro.

Gravedad: Son las consecuencias de daño que puede tener un incidente dentro de la planta, su nivel se asigna con ayuda del equipo multidisciplinario.

Incidente: Suceso del que no se producen daños o estos no son significativos, pero que ponen de manifiesto la existencia de riesgos derivados del trabajo. Cualquier suceso no esperado ni deseado, que no dando lugar a pérdidas de la salud o lesiones a las personas, pueda ocasionar daños a la propiedad, equipos, productos o al medio ambiente, pérdidas de la producción o aumento de las responsabilidades legales.

Índice de toxicidad: Son parámetros toxicológicos que se utilizan en la evaluación de riesgos y se obtienen de los estudios de dosis-respuesta. Los valores de estos parámetros son los que se comparan con las dosis suministradas que se estiman en los estudios de exposición a tóxicos ambientales.

Inflamable: Materiales con punto de evaporación inferior a 61° C (141.8 ° F). Es cualquier líquido que tenga punto de inflamación menor de 38° C y una presión de vapor no superior a 2.8 Kg/cm² (a 38° C), según la National Fire Protection Association (NFPA).



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

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

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

Modelo: Representación simplificada o esquemática de un evento del proceso con el propósito de facilitar su comprensión o análisis.

Nodo: Es la subdivisión de un sistema de proceso, éste se puede identificar por el cambio de propiedades, en su origen comienzan nuevas propiedades del material y en su destino nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y suficientemente grande para que sea significativo.

Prevención: Técnica de actuación sobre los peligros con el fin de suprimirlos y evitar sus consecuencias perjudiciales. Suele englobar también el término protección. Conjunto de actividades o medidas adoptadas o previstas en todas las fases de la actividad de la empresa con el fin de evitar o disminuir los riesgos derivados del trabajo.

Probabilidad: Predicción calculada de la ocurrencia de un accidente en un cierto período de tiempo y se expresa en fracciones de entre 0 y 1.

Protecciones: Son todas las acciones o medidas que se toman dentro del sistema de estudio para mitigar o reducir la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente.

Punto de inflamación: Es la temperatura máxima a la cual un líquido emite un vapor, en concentración suficiente como para formar con el aire una mezcla inflamable cerca de la superficie del líquido, dentro de un recipiente especificado, según procedimientos de prueba e instrumentos apropiados. El peligro relativo aumenta a medida que baja el punto de inflamación. Cuando se le calienta a su punto de inflamación (o sobre ese punto) cualquier líquido combustible producirá vapores inflamables.

Recomendaciones: Son todas las acciones o medidas que se pueden implementar para reducir o mitigar la probabilidad de que ocurra un accidente o incidente.

Tóxico: Son aquellos materiales cuya emisión o liberación al ambiente puede causar daños a la salud de los seres humanos, o a cualquier forma de vida.



APÉNDICE D PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS

PARAMETRO		PROPANO	TOLUENO	GAS INERTE (N ₂)	
1	Temperatura de Ebullición	° C	-42	4	195.8
2	Temperatura de Fusión	° C	-187.1	-95	-210
3	Temperatura de Inflamación	° C	-42	4.4	-
4	Temperatura de Autoignición	° C	450	536	-
5	Peso Molecular	gr/grmol	44.09	92.13	14
6	Limites de Explosividad	% en volumen de aire	2.15-9.60	1.27- 7	-
7	Densidad	g/ml	0.504	0.87	0.87
8	Color		Incoloro	Incoloro	Incoloro
9	Olor		Inodoro	Aromático	Inodoro

PARAMETRO		METIL ETIL CETONA (MEK)		
1	Temperatura de Ebullición	° C	80	
2	Temperatura de Fusión	° C	-87	
3	Temperatura de Inflamación	° C	-9	
4	Temperatura de Autoignición	° C	404	
5	Peso Molecular	gr/grmol	69	
6	Limites de Explosividad	% en volumen de aire	1.4-11.4	
7	Densidad	g/ml	0.8	
8	Color		Incoloro	
9	Olor		Menta	

**BIBLIOGRAFÍA.**

1. Santamaría Ramiro, J.M. Análisis y Reducción de riesgos en la industria química, Fundación MAPFRE, España, 1994.
2. Taller de Análisis de Riesgo y Operabilidad. UNAM-Facultad de Química (2003).
3. AICHE. Guidelines for Hazard Evaluation Procedure, New York 1992.
4. Independent Engineering Service LTD, Seminario sobre Estudios Hazop, México, 1998.
5. Hazard Assesment and Risk Analysis Techniques for Process Industries, IMP, México 1994.
6. C. Florentini y F. De Vecchi (TECSA S.P.A; Italia), E.P. Lander (ATR Applied Training Resources, EEUU); C. Vilagut Orta (TECSA Iberica, S.A.). Gestión de la Seguridad de los Procesos-Soporte al Funcionamiento y Sistemas de Formación. Ingeniería Química 127-152 (Sep.1997).
7. Encyclopedia of industrial chemistry, ULLMANN'S, Vol. A4.
8. Chemical Process Safety:Fundamentyls with Applications;Crowl/Louvar; Prentice Hall, 1990
9. Santamaría R. y Braña A. P. A., **“Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria Química”**; Fundación MAPFRE, España 1994, 526 p.
10. Guidelines for Hazard Evaluation Procedures. Second Edition. April 1995.
11. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers New York.
12. Manual de operacion de la planta desparafinadora de Aceites Lubricantes de la Refinería de Salamanca “Antonio M. Amor”.
13. Crow y Louvar. Fundamentyls with Applications.; Prentice Hall, 1990.
14. 12a.- Manual SIASPA PEMEX Edición Octubre 2002 sección 6-12 Pág. 1.
15. <http://www.asecorp-online.com/ficheros/formacion/sem-emergenciasoct01/emergencias-riesgo.pdf>
16. <http://www.imiq.org/mty/st-vt-3/VT-3-2.PDF>