



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**"ANALISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA
PREPARADORA DE CARGA"**

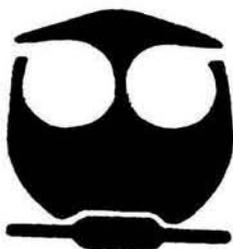
T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO QUIMICO

P R E S E N T A

OSCAR FIGUEROA ARAGON



MEXICO, D.F.



**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA**

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

JURADO ASIGNADO

Presidente. Prof. YOLANDA CABALLERO ARROYO
Vocal. Prof. ALEJANDRO IÑIGUEZ HERNANDEZ
Secretario. Prof. MODESTO JAVIER CRUZ GOMEZ
1er. Suplente. Prof. NESTOR NOE LOPEZ CASTILLO
2o. Suplente. Prof. BALDOMERO PEREZ GABRIEL

SITIO DONDE SE REALIZÓ EL TEMA:

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

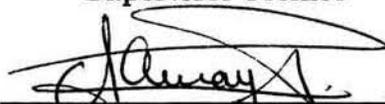
Refinería "Gral. Lázaro Cárdenas", Minatitlán, Ver.

Asesor



Dr. Modesto Javier Cruz Gómez.

Supervisor Técnico



I.Q. Paola Amairaní Quintero Reyes

Sustentante


Oscar Figueroa Aragón

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

NOMBRE: Oscar

Figueroa Aragón

FECHA: 02 de junio de 2004

FIRMA: 



Dedicatorias

Dedico este trabajo a:

Mis padres:
Antonia Aragón Nopala
Bonfilio Figueroa Solís

A quienes debo todo lo que soy, y enseñarme el valor de compartir.
Gracias por todo el esfuerzo que han hecho, los quiero mucho.

Mis hermanos:
Anabel, Antonia, Fernando y Alfredo: por todo lo que hemos
compartido.

Adriana Forzante Trost:
Por toda la ayuda y consejos que me has dado: Gracias Adriana

Mis amigos:
Fanny, Esmeralda, Nicandro, Fátima Yakin, Paco, Gisela, José
Francisco Cruz Ángeles, Columba, Adriana, Griselda, Gina, Saúl,
Daniel, Sonia, Paola, Nila. Las experiencias que hemos vivido serán
inolvidables para mí.

A Edgar y Claudia por considerarme como su fotógrafo.

Milleria Hernández Madrid: Por tenerme paciencia en la Refinería.
Gracias Mille.

Claudia Guerrero Ortega: Por la experiencia que vivimos en la sección
estudiantil del IMIQ y la confianza que depositaste en mí.

El equipo que formé con Gustavo, Jorge, Juan Roberto, Juan Carlos,
porque aprendimos que trabajar en equipo es mucho mejor.



Agradecimientos

Agradezco al Dr. Modesto Javier Cruz Gómez la oportunidad de llevar a cabo este trabajo.

A la Dra. Yolanda Caballero Arroyo por toda la confianza depositada en mí.

A los ingenieros:

Raúl Flores García
Alberto Portilla Vázquez
Salvador Vigil Zamora

Por la ayuda prestada durante la realización del presente trabajo.

A las siguientes instituciones por las facilidades prestadas para realizar el presente trabajo:

Facultad de Química

Universidad Nacional Autónoma de México

Refinería "General Lázaro Cárdenas" en Minatitlán, Veracruz.



	Páginas
Introducción.....	1
Capítulo I Marco teórico	
Antecedentes.....	3
Definición y objetivos de la seguridad Industrial	3
Diferencia entre riesgo y peligro.....	4
Técnicas de análisis de riesgos	5
Métodos comparativos:.....	6
listas de verificación (checklists)	6
Códigos y Normas.....	7
Métodos generalizados.....	8
Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp).....	8
Técnicas grupales para mejorar la interacción durante un análisis HazOp.....	9
Facilitar el acuerdo.....	9
Lluvia de Ideas.....	10
Clasificación de Ideas.....	11
Análisis "What if".....	12
Análisis de árbol de fallas.....	12
Análisis de árbol de sucesos.....	13
Análisis de consecuencias.....	13
Índices de riesgo.....	14
Destilación de petróleo crudo.....	14
Generalizaciones para el punto de ebullición:	15
Columna de alto vacío	15
Productos de la unidad de destilación del crudo	18
Capítulo II Trabajo de Campo	
Productos elaborados en una refinería.....	20
Descripción del proceso de la planta preparadora de carga.....	21
Sección de precalentamiento.....	21
Control de perfil de temperaturas de la torre de alto vacío.....	25
Fraccionamiento a partir de una carga de vapores	27
Análisis HazOp.....	28
Acciones previas del equipo HazOp.....	30
Metodología empleada en un análisis HazOp.....	30
Palabras guía utilizadas en un análisis HazOp:.....	31
Matriz de índice de riesgos.....	32
Matriz de clase de riesgo.....	34
Análisis de árbol de fallas.....	40



ÍNDICE



Descripción del escenario para el análisis de árbol de fallas.....	43
Resultados y recomendaciones del análisis de árbol de fallas (FTA).....	49
Análisis de consecuencias	50
Aplicación del análisis de consecuencias.	53

Conclusiones y recomendaciones

Recomendaciones.....	69
Recomendaciones del análisis HazOp	69
Recomendaciones del análisis de árbol de fallas.....	69
Recomendaciones del análisis de consecuencias	70
Lista de buenas prácticas de operación.....	71
Conclusiones.....	72
Glosario	73
Bibliografía.....	76



LISTA DE ABREVIATURAS



API	American Petroleum Institute
ASME	American Society of Mechanical Engineers
ASTM	American Society for Testing Materials
C.A	Consequences Analysis
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación
DFP	Diagrama de flujo de proceso
EC	Evento Culminante
AAF	Análisis de Árbol de Fallas
GIDT	Gerencia de Investigación y Desarrollo Tecnológico
HazOp	Hazard and Operatility (análisis de peligros y operabilidad)
ICI	Imperial Chemical Industries
L.I.I.	Limite Inferior de Inflamabilidad
L.S.I.	Limite superior de Inflamabilidad
MSDS	Material Safety Data Sheet
NASA	National Aeronautic Spatial Administration
NEMA	Nacional Electrical Manufacturers Association
NFPA	National Fire Proteccion Association
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
PEMEX	Petróleos Mexicanos
SIASPA	Sistema Integral para la Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental
F	Frecuencia
G	Gravedad
R	Riesgo
DC ₂	Deetanizadora V-500

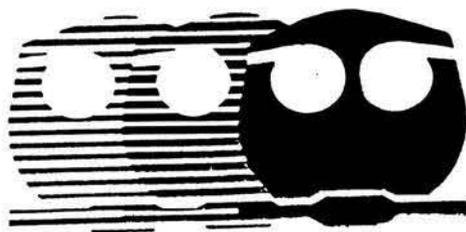


INDICE DE TABLAS



Tabla	Páginas
Clasificación de técnicas de análisis de riesgos	6
Intervalos de ebullición de fracciones del petróleo crudo	16
Distribución de platos y empaques de la torre de alto vacío	26
Descripción de la metodología del análisis HazOp	31
Definición de las palabras guía	32
Matriz de Índice de riesgos	33
Tabla de gravedad	33
Tabla de frecuencia	34
Matriz de clase de riesgo.....	35
Seguimiento de las recomendaciones de un análisis HazOp	35
Simbología del análisis de árbol de fallas	41
Descripción del escenario: Incendio en la bomba P-203	43
Criterio para asignar probabilidades a los eventos básicos	44
Probabilidad de ocurrencia de eventos analizados.....	45
Resultados del análisis de árbol de fallas.....	48
Recomendaciones del Análisis del Árbol de fallas	50
Algunos niveles de radiación	56
Niveles de sobrepresión	56
Datos necesarios para realizar el análisis de consecuencias.....	65
Vulnerabilidad a la radiación térmica	68
Lista de buenas prácticas de operación	71

Introducción





INTRODUCCIÓN



El objetivo del presente trabajo es mostrar a los futuros ingenieros químicos la importancia de implementar análisis de riesgos para identificar desviaciones en las intenciones de diseño de una planta química, y de este modo reducir riesgos a la salud y la integridad física tanto de personal que labora en el centro de trabajo como a la población circunvecina y proteger al medio ambiente.

Lograr que el personal lleve a cabo sus actividades con plena conciencia de los riesgos que implica la operación de una planta química, es uno de los objetivos de la seguridad industrial, ya que se encarga de prevenir y controlar los riesgos de trabajo, haciendo el ambiente laboral y el trabajo menos riesgoso.

Un análisis de riesgos puede realizarse utilizando el “sentido común”, pero la complejidad de la tecnología moderna ha hecho que el proceso de análisis sea también complejo, por esto ha sido necesario el desarrollar y establecer metodologías sistematizadas de alta confiabilidad para realizar los diagnósticos de seguridad de un proceso industrial.

Se debe señalar que por muchas medidas que se tomen para mejorar la seguridad de los procesos, es imposible eliminar por completo los riesgos derivados de la operación de las plantas químicas, por lo que es necesario reducir o disminuir la frecuencia y la gravedad de cualquier accidente que se pudiera presentar.

Las técnicas de análisis de riesgos pueden combinarse para obtener mejores resultados. En el presente trabajo se combinaron la técnica HazOp aplicada a la Planta Preparadora de Carga, la técnica de análisis de árbol de fallas aplicada a la bomba P-203 y la técnica de



INTRODUCCIÓN



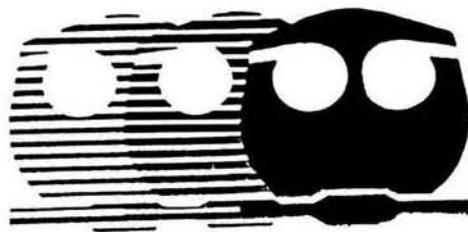
análisis de consecuencias, aplicada a la succión de la bomba P-203 que descarga el fondo de la torre de alto Vacío V-201.

A continuación se enumera el orden en que se llevaran a cabo los objetivos propuestos:

- Identificar y evaluar el nivel de riesgos en la Planta Preparadora de Carga aplicando la técnica de análisis de riesgos y operabilidad, "HazOp".
- Establecer las medidas para controlar o reducir el nivel de riesgo encontrado en la succión del fondo de la torre de alto vacío V-201, con el fin de mejorar la operabilidad y la seguridad en la sección de las bombas P-203.
- Aplicar la técnica de análisis de árbol de fallas en el escenario "fuga en la línea de succión de la bomba P-203 con el fin de decidir si el riesgo es aceptable o no.
- Aplicar la técnica de análisis de consecuencias en el escenario "fuga en la línea de succión de la bomba P-203" para determinar los posibles daños ocasionados, si llegara a ocurrir el evento.
- Fomentar los principios de seguridad e higiene haciendo conscientes de ellos a todo el personal y la importancia que representa para todos.

Capítulo I

Marco teórico





1.1 Antecedentes. ⁽¹⁾⁽²⁾

La Revolución Industrial marca el inicio de la Seguridad Industrial como consecuencia de la aparición de la fuerza del vapor y la mecanización de la industria, lo que produjo el incremento de accidentes y enfermedades laborales.

No obstante, el nacimiento de la industria y el de la Seguridad Industrial, no fueron simultáneos, ya que en 1871 el 50% de los trabajadores morían antes de los 20 años, debido a los accidentes y las pésimas condiciones de trabajo.

1.2 Definición y objetivos la de seguridad Industrial. ⁽¹⁾⁽²⁾

La Seguridad Industrial es el conjunto de actividades que tienen como función proteger la integridad física, mental y social del hombre en su trabajo y mantenerlo como elemento activo dentro de un medio sin riesgos, entendiendo como riesgo, a la probabilidad de pérdida o daño.

Los objetivos básicos de la Seguridad Industrial son:

- Evitar la lesión y muerte por accidente. Cuando ocurren accidentes, hay una pérdida de potencial humano y con ello, una disminución de la productividad.
- Detectar y combatir todo agente agresivo a la salud de los trabajadores dentro de su lugar de trabajo, ya sea químico, físico, mecánico, biológico o psicosocial de reconocida o presunta nocividad.
- Reducción de los costos operativos de producción. De esta manera, se incide en la minimización de costos y la maximización de beneficios.



- Mejorar la imagen de la empresa y por ende, la seguridad del trabajador, para aumentar el rendimiento en el trabajo.
- Contar con un sistema estadístico que permita el avance o disminución de los accidentes y las causas de los mismos.
- Contar con los medios para montar un plan de seguridad que permita a la empresa desarrollar las medidas básicas de seguridad e higiene; determinar los costos e inversiones que se derivan a partir de estas actividades.

1.3 Diferencia entre riesgo y peligro. ⁽¹⁾

En materia de seguridad, las palabras riesgo y peligro se mencionan continuamente sin hacer una distinción alguna.

Peligro es cualquier condición física o química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad, generalmente es una característica inherente a las sustancias que se manejan.

Riesgo es la posibilidad de sufrir pérdidas, es decir se puede considerar como una medida de pérdida económica o daños a personas expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de sus consecuencias.

El nivel de riesgo asociado con la industria química se considera elevado por tres diferentes razones:

- **El tipo de materiales:** en su mayoría se catalogan como peligrosos al ser tóxicos y/o corrosivos, explosivos y/o inflamables.



- **Los procesos utilizados en la industria química:** requieren, en algunas ocasiones, el uso de variables de operación en condiciones extremas, y por lo tanto generan un riesgo pues en caso de falla en el equipo o en el sistema de control, pueden provocar graves accidentes.
- **Los grandes volúmenes de consumo y producción:** en las diferentes plantas, tienen como efecto el aumentar la gravedad de los accidentes que pudieran ocurrir.

Los factores mencionados en el párrafo anterior, sumados a los errores humanos así como a una incorrecta administración de la seguridad en algunas empresas, han sido las causas de los graves accidentes que han ocurrido durante la fabricación, el uso, el almacenamiento y el transporte de productos químicos.

Las técnicas de análisis de riesgos permiten señalar los puntos críticos de los procesos, cuantificar la magnitud de los riesgos y comparar las diferentes alternativas de solución.

1.4 Técnicas de análisis de riesgos. ⁽¹⁾⁽²⁾

“Un análisis de riesgos es la aplicación de un conjunto de técnicas que permiten identificar y evaluar de una forma sistemática la probabilidad de riesgo que puede provocar en un determinado momento algún accidente.”

Las técnicas de análisis de riesgos permiten, con herramientas sistematizadas y especializadas de identificación y evaluación, la caracterización de los riesgos en las diferentes áreas del proceso.



Las diversas técnicas tienen aspectos comunes y diferenciados, por lo cual se pueden clasificar en tres principales métodos: métodos comparativos, métodos generalizados e índices de riesgo.

TABLA 1.1 Clasificación de técnicas de análisis de riesgo.

CLASIFICACIÓN DE TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS		
MÉTODOS COMPARATIVOS	MÉTODOS GENERALIZADOS	ÍNDICES DE RIESGO
Listas de verificación (Checklists)	Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp)	Índice Dow
Códigos y Normas	Análisis de Consecuencias (AC)	
	Análisis de Árbol de Fallas (FTA)	
Análisis Histórico de accidentes	Análisis What-if	Índice Mond
	Análisis de Error Humano	
	Análisis de Modos de Fallo y Efectos (FMEA)	
	Análisis de Árbol de Sucesos (ETA)	

1.5 Métodos comparativos: ⁽¹⁾ ⁽²⁾

Se basan en la experiencia previa acumulada en un campo determinado de quienes llevan a cabo el análisis, como registro de accidentes previos o reunidos en forma de códigos o listas de comprobación.

a) listas de verificación (checklists). ⁽¹⁾

La lista de verificación conocida como Checklist Analysis o simplemente Checklists, es una técnica en donde el analista usa una lista de términos específicos que identifican peligros típicos, como deficiencias de diseño, y accidentes potenciales, asociados con los



procesos y equipos de operación. Esta técnica evalúa materiales, equipos y procedimientos; preferentemente evalúa un diseño específico, del cual una industria o compañía tiene suficiente experiencia y desea desarrollar un nuevo proceso para eliminar peligros que se hayan efectuado a través de los años de operación de un sistema similar.

Las mismas compañías que elaboran el producto o construyen la planta, realizan sus propias listas de verificación. La experiencia acumulada del personal de la planta sirve de base para comparar el estado de un sistema en referencia al sistema en estado normal u óptimo. Permitiendo identificar las áreas carentes de seguridad o áreas que requieren de mayor estudio. Así mismo, se utilizan para comprobar el cumplimiento de estándares de diseño y de regulaciones de seguridad. Puede ser empleada en cualquier etapa del proyecto o en las instalaciones de un proceso existente. Una vez realizada la lista deberá auditarse y actualizarse.

b) Códigos y Normas. ⁽¹⁾

Esta técnica de identificación de riesgos se usa para evaluar la seguridad de una planta de procesos, con ayuda de manuales internos que indican como diseñar, fabricar, distribuir, instalar, operar, modificar y desmantelar los equipos de proceso. Los Códigos y Normas de Seguridad (o estándares) son los estatutos que dictan el procedimiento para efectuar la técnica de análisis para la evaluación de una planta de determinado proceso, las cuales se basan en normas internacionales, nacionales, locales y estándares complementados con la experiencia. Con el fin de dar los lineamientos para el diseño, fabricación, distribución, instalación,



operación, modificación y desmantelamiento de la planta; esto se hace mediante el apoyo de los manuales de operación.

c) Análisis histórico de accidentes. ⁽¹⁾

El análisis histórico de accidentes es una herramienta de identificación de riesgos que hace uso de los datos recopilados en el pasado sobre incidentes industriales. La ventaja de esta técnica radica en que se refiere a accidentes ya ocurridos, por lo que los peligros identificados con su uso son indudablemente reales. Es aquí donde reside principalmente su limitación ya que el análisis solo se refiere a accidentes que han tenido lugar y no se pueden analizar todas las posibilidades importantes.

1.6 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.

1) Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp). ⁽¹⁾⁽²⁾

Es una herramienta sistemática usada por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad, la cual usa una serie de palabras guía, que se aplican a cada parámetro del proceso seleccionado, para identificar, mediante la discusión propositiva y la generación de ideas: desviaciones de la intención de diseño de un sistema y sus procedimientos, las causas y consecuencias que las provocan y los sistemas de protección ó mitigación de dichas causas y consecuencias; y que además,



cuantifica los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias ó probabilidades y la gravedad, hace recomendaciones, las cuales clasifica y jerarquiza de acuerdo al nivel del riesgo encontrado, establece y jerarquiza las acciones para implementar las medidas correctivas determinadas por el equipo multidisciplinario.

Como el análisis HazOp se basa en la interacción grupal, a continuación se muestran una serie de técnicas para mejorarlo

Técnicas grupales para mejorar la interacción durante un análisis HazOp. ⁽²⁶⁾ ⁽²⁷⁾

Una vez que se hayan mejorado los aspectos físicos y organizacionales del ambiente de un grupo pequeño, se presentan algunas técnicas específicas relacionadas con la interacción, las cuales, pueden utilizarse directa e indirectamente, para aumentar la eficacia del grupo.

Estas técnicas se conocen como:

- Facilitar el acuerdo.
- Sesiones de innovación (lluvia de ideas)
- Clasificación de ideas

Facilitar el acuerdo.

Lograr el acuerdo entre los miembros del grupo sobre el curso de una acción, aumenta siempre la posibilidad del cumplimiento exitoso de una tarea.

Para conseguir consenso, deberán incorporarse dentro de la decisión, las opiniones, actitudes y creencias de los miembros del grupo. Una de las mejores maneras para hacerlo, es hallar las



áreas donde existe acuerdo sobre las soluciones del problema que se está considerando y cambiarlas para lograr la decisión final.

Encontrar las áreas de acuerdo, requiere de la participación activa de los miembros del grupo en el proceso de decisión. La participación se mejora, si la gente se siente segura y para que sea así, se debe proteger su autoestima.

La utilización de preguntas con final abierto, también contribuye a que la gente participe.

Todos los miembros, pero sobre todo el líder del grupo, deberán tratar de reconocer e involucrar a todos en la decisión.

Una vez que la mayoría de los miembros está participando, la cuestión es decidir sobre la mejor solución.

Al final de la discusión del grupo, es aconsejable que alguien resuma el conjunto de la acción que el grupo está recomendando.

Lluvia de Ideas.

Por sí misma, la sesión de innovación, es una técnica poderosa para aumentar la capacidad para decisiones en grupos pequeños.

Ha sido diseñada específicamente para generar ideas nuevas.

El grupo logra esta meta, primeramente, posponiendo los juicios sobre las ideas.

Para una sesión de innovación, sirven como guía las siguientes recomendaciones:

- Prohibir estrictamente la crítica negativa de las ideas de los demás.
- Insistir en que mientras más espontáneas sean las ideas sugeridas, tanto mejor.



- Estimular a los participantes para que produzcan sus propias ideas y las combinen con las de los demás.
- Insistir en que es un objetivo principal lograr el mayor número de ideas.

Clasificación de Ideas.

El primer paso en la clasificación de ideas, es hacer que los miembros del grupo, escriban brevemente soluciones posibles para un problema. Luego, cada persona o subgrupo debe, uno por uno, sugerir soluciones a los demás integrantes.

El líder del grupo, registra brevemente estas soluciones en un cuaderno o tablero.

Después que todos los individuos o grupos, hayan dado a conocer sus ideas y se haya registrado cada solución en el papel, el líder enumera las soluciones propuestas.

Empezando con la primera idea y siguiendo con las demás, todo el grupo discute los pros y los contras de cada idea. Así se discuten todas las ideas.

Luego de haberlas considerado todas, los miembros del grupo, votan individualmente por las que consideren mejores.

Luego, el líder del grupo, registra en un papel o tablero las ideas que aparecen más frecuentemente.

Una vez más, se pueden revisar las ideas restantes para reconocer sus méritos.



Este proceso de revisión, la clasificación individual y la revisión, siguen hasta cuando quede una idea, o unas pocas propuestas de solución.

2) Análisis “What if”. ⁽¹⁾⁽²⁾

El análisis “What if” es menos estructurado que el análisis HazOp. Debido a esta falta de estructuración, se requiere una mayor experiencia por parte de los integrantes del equipo que lo lleva a cabo, ya que de lo contrario es más probable que ocurran omisiones importantes.

El objetivo de un análisis “What if” es considerar las consecuencias negativas de posibles sucesos inesperados. Con este método se supone que ocurre una falla sin considerar que fue lo que la causó. El análisis “What if” utiliza la pregunta “¿Qué pasa sí?”, aplicada a desviaciones en el diseño, construcción, modificación y operación de instalaciones industriales. Las preguntas se realizan sobre áreas concretas por un equipo de dos o tres expertos que poseen documentación detallada de la instrumentación, procedimientos de operación o acceso a personal de la planta para proveerse de información complementaria.

3) Análisis de árbol de fallas. ⁽²⁾⁽³⁾

Un árbol de fallas es un diagrama lógico-gráfico que describe la manera en que se pueden combinar diferentes eventos para que ocurra un evento indeseado. Es una técnica usada para calcular la probabilidad de falla de un sistema, basado en la probabilidad de falla de sus componentes. Usa lógica inductiva, que es la: identificación de un evento principal o culminante (generalmente la



falla de un sistema) y luego de las causas que pueden producir dicho evento. Es aplicable a sistemas formados por eventos que se pueden describir con lógica Booleana (el evento ocurre o no).

4) Análisis de árbol de sucesos. ⁽¹⁾

El análisis de árbol de sucesos (Event Tree Analysis) evalúa las consecuencias que pueden tener lugar a partir de un suceso determinado. No interesa tanto en este caso estudiar como puede originarse el suceso iniciador, sino cuáles son sus posibles resultados. Por tanto, en el análisis ETA se hace énfasis en un suceso inicial que se supone que ya ha ocurrido, y se construye un árbol lógico que conecta dicho suceso inicial con los efectos finales, donde cada rama del árbol representa una línea de evolución que conduce a un efecto final.

El análisis de árbol de sucesos es especialmente adecuado para estudiar las posibles secuencias de evolución de los acontecimientos tras un accidente.

5) Análisis de consecuencias.⁽¹⁾

El análisis de consecuencias (AC) es un proceso “con visión futura”, ya que sirve para identificar las posibles formas de progresión de eventos que involucren sustancias peligrosas; y cuantificar la magnitud y alcance de sus efectos sobre las personas, el equipo 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.



En el presente trabajo se desarrolla un análisis de consecuencias el cual se encuentra en el capítulo 2 “trabajo de campo”.

1.7 Índices de riesgo.⁽¹⁾

Se basan en jerarquizar los riesgos para asignar penalizaciones y bonificaciones según las características del proceso, y señalan áreas de mayor concentración de riesgo donde se requiere un análisis más profundo o medidas suplementarias de seguridad

Los índices de riesgo son utilizados para evaluar los niveles globales de riesgo de las diferentes áreas de una planta, y para señalar en cuales de las mismas se debe realizar un estudio más profundo mediante la aplicación de otras técnicas de análisis.

Para cumplir con su objetivo, los índices de riesgo toman en cuenta diversos factores relacionados con el proceso y las condiciones generales de la planta, con el fin de señalar las áreas de mayor riesgo y las consecuencias de los posibles accidentes. Índice Dow e Índice Mond están diseñados para dar rangos de riesgo en un proceso. El método consiste en dar puntos de penalización y de crédito o bonificación en distintas partes críticas del proceso. El índice Dow toma en cuenta la flamabilidad y reactividad, mientras que el Mond adicionalmente toma en cuenta la toxicidad.

1.8 Destilación de petróleo crudo.^{(17) (19) (24)}

Las columnas de crudo son las unidades de mayor tamaño en la refinería. Se utilizan para separar el crudo de petróleo en fracciones de acuerdo con su punto de ebullición.



Se consiguen las mayores eficacias y los costes más bajos si la separación del crudo de petróleo tiene lugar en dos etapas: primero fraccionando la totalidad del petróleo crudo esencialmente a la presión atmosférica; luego, alimentando la fracción de los residuos de punto de ebullición más alto (fondo de la columna atmosférica) a un segundo fraccionador operando a alto vacío.

A los residuos de punto de ebullición más alto del petróleo crudo se les llama crudo reducido.

1.9 Generalizaciones para el punto de ebullición: ⁽¹⁵⁾

1. El punto de ebullición se eleva con el aumento del peso molecular.
2. El punto de ebullición de un hidrocarburo de cadena ramificada es inferior al de cadena lineal con el mismo peso molecular.
3. El punto de fusión aumenta con el peso molecular.
4. El punto de fusión de un hidrocarburo de cadena ramificada es inferior al de cadena lineal con el mismo peso molecular, a menos que la ramificación dé lugar a simetrías.
5. La densidad aumenta con el peso molecular.

En la tabla 1.2 se pueden consultar los intervalos de ebullición para las fracciones más características del petróleo crudo.

1.10 Columna de alto vacío. ⁽¹⁹⁾

La columna de vacío se emplea para destilar la porción más pesada del petróleo crudo en fracciones, ya que las altas temperaturas necesarias para vaporizar el crudo reducido darían lugar al craqueo



térmico, con la consiguiente pérdida por gas seco, producto fuera de especificación y ensuciamiento del equipo debido a la formación de coque.

Tabla 1.2 Intervalos de ebullición de fracciones características del petróleo crudo.

Intervalos de ebullición	
Fracción	Intervalo de ebullición (°C)
Butanos y más ligeros	
Gasolina ligera (LSR)	32-88
Nafta (gasolina pesada directa)	88-193
Queroseno	193-247
Gasóleo ligero	247-321
Gasóleo atmosférico	321-427
Gasóleo de vacío	427-566
Crudo reducido de vacío	>566

Las temperaturas de salida del horno requeridas para la destilación a presión atmosférica de las fracciones más pesadas del crudo de petróleo son tan altas que podrían dar lugar al craqueo térmico, con la consiguiente pérdida de producto y ensuciamiento del equipo. Estas materias se destilan por consiguiente bajo vacío, ya que la temperatura de ebullición desciende al decrecer la presión. La destilación se lleva a cabo con presiones absolutas, en la zona de alimentación de la columna, de 25 a 40 mmHg.

Para mejorar la vaporización, se rebaja la presión efectiva (a 10 mmHg o menos) mediante la adición de vapor a la entrada del horno y a la base de la columna de vacío. La adición de vapor a la entrada del horno incrementa la velocidad en los tubos del horno y minimiza



la formación de coque en el horno, así como también disminuye la presión parcial de la totalidad de los hidrocarburos en la columna de vacío.

Las temperaturas de salida del horno son también función del intervalo de ebullición del crudo reducido y de la fracción vaporizada.

Velocidades altas en los tubos y la adición de vapor minimizan la formación de coque, utilizándose vapor de 10.5 Kg/Cm².

La presión efectiva (presión total absoluta-presión parcial del vapor) en la zona de alimentación determina la fracción del crudo reducido alimentado para una temperatura de salida del horno dada, por lo tanto, es esencial para el diseño de la columna de fraccionamiento, de las líneas superiores y del condensador, minimizar la pérdida de carga entre el dispositivo de inducción del vacío y la zona de flash. Un descenso de unos pocos mmHg en la pérdida de carga puede ahorrar mucho dinero en los costes de operación.

Las presiones de operación más bajas dan lugar a incrementos significativos en el volumen de vapor por barril vaporizado y, por consiguiente, las columnas de destilación a vacío tienen un diámetro mucho mayor que las columnas a presión atmosférica.

La presión de operación deseada se mantiene mediante la utilización de eyectores de vapor y condensadores barométricos o de superficie. El tamaño y el número de eyectores utilizados se determina por las necesidades de vacío y la cantidad de vapor utilizado. Para una presión de 25 mmHg en la zona de alimentación, se requieren normalmente tres etapas de eyección. La primera etapa condensa el vapor y comprime los gases no condensables, mientras que la



segunda y tercera etapas eliminan los gases no condensables de los condensadores. El vacío producido está limitado por la presión de vapor del agua utilizada en los condensadores. Si se suministra agua fría a los condensadores puede obtenerse una presión absoluta menor en la columna de vacío.

Aunque más costosos que los condensadores barométricos, la tendencia actual es hacia el uso de los condensadores de superficie para reducir la contaminación del agua con aceite.

1.11 Productos de la unidad de destilación del crudo.⁽¹⁵⁾

En orden de punto de ebullición creciente, los principales productos de una unidad característica de destilación de crudo, son:

Gas Combustible. El gas combustible consta principalmente de metano y etano. En algunas refinerías también se incluye en la corriente de gas combustible propano en exceso del requerido para el GLP. Esta corriente también se conoce como "gas seco".

Gas húmedo: La corriente de gas húmedo contiene metano, etano, propano y butano. El propano y los butanos se separan para utilizarse en el GLP, y en el caso del butano para el mezclado de gasolina.

Gasolina directa ligera (siglas inglesas LSR): La corriente de gasolina directa se desulfura y se utiliza en el mezclado de gasolina, o se procesa en una unidad de isomerización para mejorar su octanaje antes de mezclarse en gasolina.

Nafta o gasolina directa pesada (siglas inglesas HSR): Los cortes de nafta se utilizan generalmente como alimento al reformador



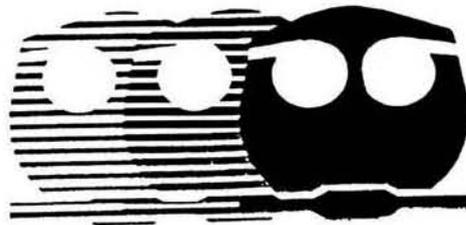
catalítico para producir reformados de alto octanaje para el mezclado de gasolina y aromáticos.

Gasóleos: Los gasóleos ligeros, atmosféricos y de vacío, se procesan en un craqueador de hidrógeno o en un craqueador catalítico para producir gasolina y combustible diesel y de propulsión a chorro. Los gasóleos más pesados de vacío pueden utilizarse también como materias primas para las unidades de proceso de aceites lubricantes.

Residuos: Los residuos de la columna de vacío pueden procesarse en un reductor de viscosidad, un coquizador, o una unidad de desasfaltado para producir gasóleo pesado o productos craqueados y/o de base para lubricantes. Para crudos asfálticos, se puede procesar posteriormente el residuo para producir asfaltos para carreteras y/o tejados.

Capítulo II

Trabajo de campo





2.1 Productos elaborados en una refinería.

Los productos que se elaboran en este tipo de centro de trabajo se mencionan a continuación:

Energéticos:

Gas licuado, Gasolina Nova, Gasolina Magna Sin, Turbosina, Diáfano, Diesel desulfurado, Combustóleo pesado.

Aromáticos:

Benceno, tolueno, etil-benceno, orto-xileno, meta y para-xileno, aromáticos pesados.

Productos especiales:

Azufre, Hidrógeno, Hexano, Heptano, Propileno, Butilenos, Isopentano.

La obtención de los productos enlistados sirve para satisfacer la demanda de la zona geográfica de influencia. Los excedentes se utilizan para mantener al equilibrio de la demanda nacional o para la exportación.

La elaboración de productos aromáticos ha propiciado el desarrollo de otras industrias, especialmente la petroquímica secundaria, impulsando y fortaleciendo así la economía nacional.

Una refinería cuenta para su buen funcionamiento con los siguientes departamentos:



plantas de proceso, recibos de materia prima y distribución de productos, protección ambiental, seguridad industrial y contra incendio, control de calidad, ahorro de energía, planeación y evaluación mantenimiento y construcción, manejo y almacenamiento de materiales y refacciones, comunicación, asistencia social, etc.

2.2 Descripción del proceso de la planta preparadora de carga.

La planta preparadora de carga tiene una capacidad de procesamiento de 33000 BPD, y cuenta con equipos que le dan una gran elasticidad para el manejo de los crudos reducidos, principalmente los de las plantas primarias.

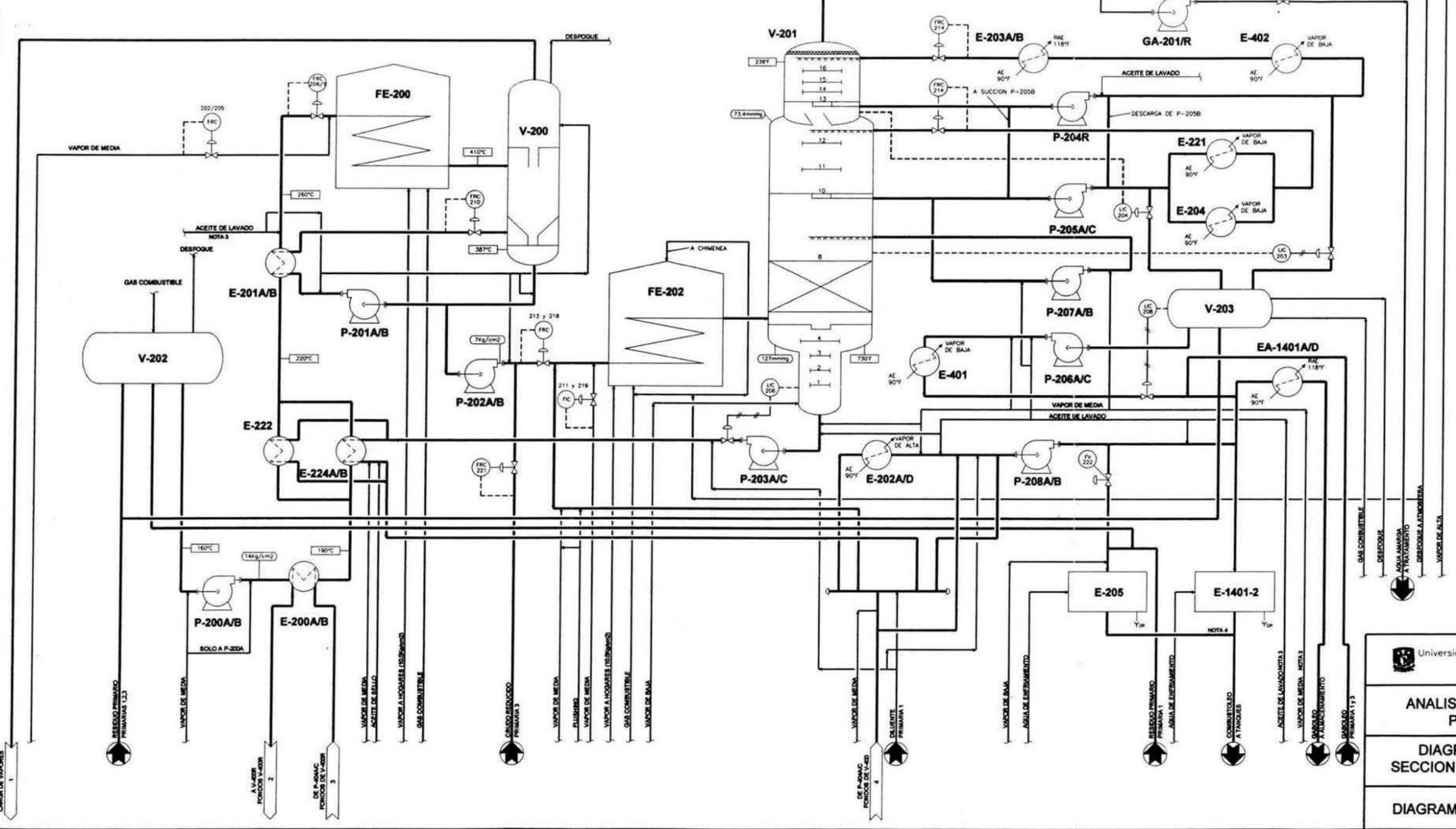
La finalidad de la planta es la de obtener gasóleos del crudo reducido primario y enviarlos principalmente a almacenamiento, para que después sirvan como carga a la planta catalítica FCC.

El crudo reducido proveniente del fondo de las fraccionadoras de las primarias llegan al tambor de balance V-202 aproximadamente a 176°C, el tambor se mantiene a baja presión (5 kg/cm²) con gas combustible. El exceso se puede desviar hacia el área de almacenamiento de la refinería, en la página 22 se encuentra el diagrama de flujo de proceso de la planta preparadora de carga.

2.2.1 Sección de precalentamiento.

El residuo primario que llega al tanque de carga V-202, es succionado por la bomba P-200 A/B, con una temperatura aproximada de 177 °C, descargando a una presión promedio de 12 a 14 kg/cm² hacia los

- | | | | | | | | | | | |
|---|--|--|---|--|--|--|---|---|--|---|
| V-200
SEPARADOR DE ALQUILTRAN
3.00 m x 2.3 m
2.6 Kg/m ³ | V-201
COLUMNA DE VACIO (PLENO VACIO)
2.85 x 2.6 m
2.60 x 2.60 m | V-202
TANQUE DE CARGA
TAMANO: 26.25' | V-203
ACUMULADOR DE GASOLEO
TAMANO: 26.25' | FE-200
CALENTADOR DE CRUDO | FE-202
CALENTADOR DE COLUMNA DE VACIO | ME-200
SISTEMA DE VACIO | BA-202A/C
BOMBA DE AGUA DE ENFRIAMIENTO | FA-201
ACUMULADOR DE AGUAS AMARIAS | FA-202
ACUMULADOR DE GASES INOCUOS | GA-210/R
BOMBA DE AGUAS AMARIAS |
| P-200 A/B
BOMBA DE SEPARADOR DE CARGA
T ₁ 280°F
FLUJO: 275 GPM
YSC: 28.5 CF, 8.0 L/HR
D ₁ : 244 PSIG
TAMANO: 48" X 18" | P-201 A/B
BOMBA DE RECIRCULACION DEL SEPARADOR DE ALQUILTRAN
CAP: 131 m ³ /HR
D ₁ Ef: 5.792 | P-202 A/B
BOMBA DE CARGA A LA COLUMNA DE VACIO
CAP: 23.47 m ³ /HR | P-203 A/B/C
BOMBAS RESERVUOS DE VACIO
Q: 427 GPM
D ₁ Ef: 5.71
TAMANO: 4' X 2' | P-204 R
BOMBA DE REFLUJO DE OOL
Q: 218 GPM
D ₁ Ef: 5.71
TAMANO: 4' X 2' | P-205 A/B/C
BOMBAS DE REFLUJO OOP
Q: 423 GPM
D ₁ Ef: 5.75
TAMANO: 4' X 2' | P-206 A/B/C
BOMBAS DE GASOLEO
FLUJO: 840 GPM
CABEZA: 800 FT
D ₁ : 3.14
TAMANO: 4' X 2' | P-207 A/B
BOMBAS RECICLADORAS DE LAVADO DE V-201
Q: 363 GPM
D ₁ : 110-110 FT
TAMANO: 4' X 2' | P-208 A/B
BOMBAS DE RESERVOIRIO DE VACIO
Q: 1818 GPM
D ₁ : 10-10 FT
D ₂ : 10-10 FT
D ₃ : 10-10 FT
TAMANO: 4' X 2' | | |
| E-200 A/B
INT DE PRECALENTAMIENTO DE CARGA
T ₁ : 200°F Y T ₂ : 200 PSIG
FLUJO: 275,000 LB/HR LADO CORAZA
FLUJO: 275,000 LB/HR LADO TUBOS
LD: 36 IN
O.D. X LONG: 1" X 82" | E-201 A/B
INT DE CALOR DE CRUDO
REDUCCION DEL FONDO DE LA TORRE V-200
COND. CORAZA: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 275,000 LB/HR
COND. TUBOS: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 130,000 LB/HR
CARGA TERMICA: 5, 861, 000 BTU/HR | E-202 A/D
PRECALENTADOR DE CRUDO
TIPO RECTOR
FLUJO: 275,000 LB/HR
COND. DE OPERACION: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 275,000 LB/HR
LD: 36 IN
O.D. X LONG: 1" X 182 IN | E-203 A/B
ENFRIADORES DE OOL DE V-201
CARGA TERMICA: 1, 345, 000 BTU/HR
LD: 17-1/4" O.D. X LONG: 1" X 182"
TEMP. DIS. X TUBOS: 200 °F
TEMP. DIS. X CORAZA: 800 °F
PRESION DIS. X TUBOS: 75 PSIG
PRESION DIS. X CORAZA: 100 PSIG | E-204
ENFRIADOR DE RESIDUO DE VACIO
CARGA TERMICA: 18, 345, 000 BTU/HR
LD: 37-1/4" O.D. X LONG: 1" X 182"
TEMP. DIS. X TUBOS: 200 °F
TEMP. DIS. X CORAZA: 800 °F
PRESION DIS. X TUBOS: 75 PSIG
PRESION DIS. X CORAZA: 100 PSIG | E-221
ENFRIADOR DE OOP
CARGA TERMICA: 54, 500, 000 BTU/HR
LD: 60" O.D. X LONG: 1" X 182"
TEMP. DIS. X TUBOS: 200 °F
TEMP. DIS. X CORAZA: 800 °F
PRESION DIS. X TUBOS: 180 PSIG
PRESION DIS. X CORAZA: 180 PSIG | E-222
INT DE CALOR CRUDO DE CARGA-RESIDUO DE VACIO
COND. CORAZA: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 184,000 LB/HR
COND. TUBOS: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 184,140 LB/HR
CARGA TERMICA: 5, 300, 000 BTU/HR | E-224 A/B
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE CRUDO
REDUCCION DEL FONDO DE LA TORRE
COND. CORAZA: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 275,000 LB/HR
COND. TUBOS: T ₁ 800°F Y P= 300 PSIG
FLUJO: 17,500 LB/HR
CARGA TERMICA: 11, 300, 000 BTU/HR | E-401
ENFRIADOR DE GASOLEO
CARGA TERMICA: 41, 860, 000 BTU/HR
LD: 47" O.D. X LONG: 1" X 182"
TEMP. DIS. X TUBOS: 200 °F
TEMP. DIS. X CORAZA: 800 °F
PRESION DIS. X TUBOS: 85 A 100 PSIG
PRESION DIS. X CORAZA: 200 A 300 PSIG | E-402
ENFRIADOR DE OOL
CARGA TERMICA: 5, 345, 000 BTU/HR
LD: 36" O.D. X LONG: 1" X 182"
TEMP. DIS. X TUBOS: 200 °F
TEMP. DIS. X CORAZA: 800 °F
PRESION DIS. X TUBOS: 85 A 100 PSIG
PRESION DIS. X CORAZA: 200 A 300 PSIG | |
| E-205
ENFRIADOR DE COMBUSTIBLE O RESIDUO DE VACIO | E-1401-2
ENFRIADOR DE COMBUSTIBLE O RESIDUO DE VACIO | | | | | | | | | |



- NOTAS:
- 1.- DISEÑO ORIGINAL POR FLUOR-CORPORATION
 - 2.- ESTE DIAGRAMA SE COMPLEMENTA CON EL DIAGRAMA 2 DE LA PAGINA 23
 - 3.- EL CUADRO DE BALANCE DE MATERIALES CORRESPONDIENTE A ESTE DIAGRAMA SE INCORPORA UNA VEZ QUE EL AREA NO. 1 DE LA REFINERIA LO PROPORCIONE

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

ANÁLISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA PREPARADORA DE CARGA

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SECCION DE FRACCIONAMIENTO DE VACIO

DIAGRAMA 1 PÁGINA 22

V-400 R
TORRE FRACCIONADORA DE CRUDO
BASE: 3.9 m. 18 PLATOS
PRESION DIF. 3.13 Kg/m²
18 m T-1

E-400A/D
CONDENSADOR
DE GASOLINA

V-402
TANQUE ACUMULADOR
DE GASOLINA

V-404
TANQUE ACUMULADOR
DE AGUAS AMARGAS

V-707
ACUMULADOR DE
GAS HURDIO

CH-730
CONDENSADOR DE
VAPOR DE TURBINA

BB-730
COMPRESOR DE
GASES INCONDENSABLES

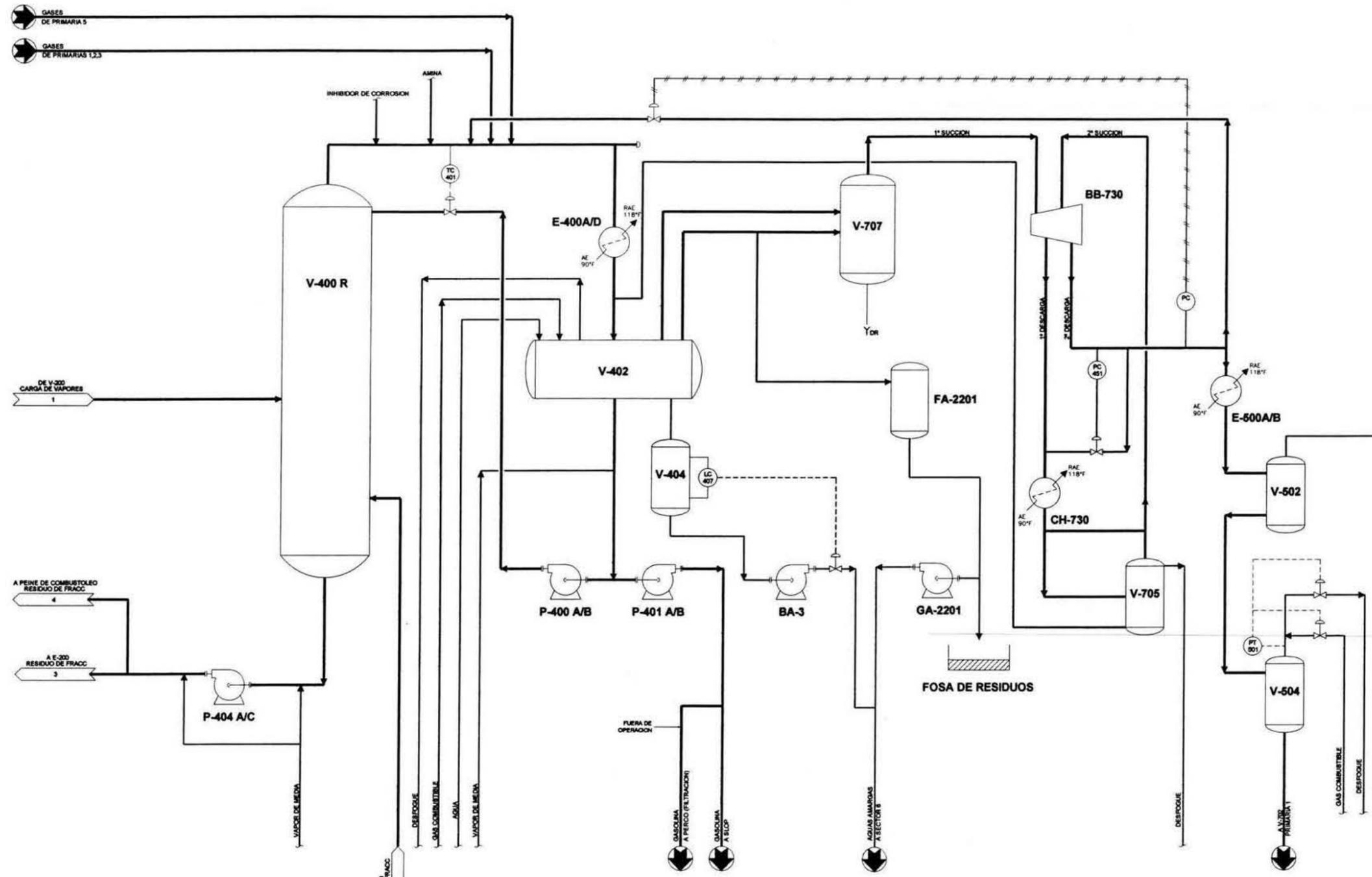
E-500A/B
ENFRIADOR DE
GASES INCONDENSABLES

V-502
SEPARADOR DE AGUA

V-504
SEPARADOR DE GASES Y AGUA

NOTAS:

- 1.- DISEÑO ORIGINAL POR FLUOR-CORPORATION
- 2.- ESTE DIAGRAMA SE COMPLEMENTA CON EL DIAGRAMA 1 DE LA PÁGINA 22
- 3.- EL CUADRO DE BALANCE DE MATERIALES CORRESPONDIENTE A ESTE DIAGRAMA DE INCORPORAR UNA VEZ QUE EL AREA N.º 1 DE LA REFINERIA LO PROPORCIONE



DE V-200
CARGA DE VAPORES
1

A PERTE DE COMBUSTIBLES
RESIDUO DE FRACC
4

A E-200
RESIDUO DE FRACC
3

P-404 A/B/C
BOMBA DE APAGADO
FONDOS DE LA COLUMNA DE SINTESIS
CAP. 200 L. 1.500 OR. 250P. 5.71
TAMANO (28 Y 30 M)

P-400A/B
BOMBA DE
REFLUJO DE GASOLINA

P-401A/B
BOMBA DE GASOLINA
A SUDP

BA-3
BOMBA DE
AGUAS AMARGAS

GA-2201
BOMBA DE
FONDOS FA-2201

V-705
ACUMULADOR
DE GASOLINA

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

**ANÁLISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA
PREPARADORA DE CARGA**
**DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO
SECCION DE FRACCIONAMIENTO DE CRUDO
REDUCIDO**

DIBUJO No. 2

PÁGINA 23



intercambiadores de calor E-200 A/B que operan en paralelo, saliendo de estos con una temperatura aproximada de 190 °C, intercambiando calor con el fondo de la torre fraccionadora de crudo V-400, siguiendo su trayectoria hacia los intercambiadores E-224 A/B que operan en serie, saliendo de estos con una temperatura promedio de 220°C, intercambiando calor con el fondo de la columna de alto vacío V-201 continuando hacia los intercambiadores de calor E-201 A/B que operan en relevo, saliendo de estos con una temperatura promedio de 260 °C, intercambiando calor con el fondo del separador de alquitrán V-200 hasta la entrada del calentador F-200, distribuyéndose en cuatro serpentines por medio de controladores de flujo a los cuales se les inyecta una corriente de vapor de arrastre o de proceso con una presión de 10.5 kg/cm².

La temperatura de esta carga es incrementada en el calentador F-200 con una temperatura promedio de 403 °C en la salida del calentador, para entrar tangencialmente en la zona de flash del separador de alquitranes V-200 donde es separada una carga ligera por el domo (carga de vapores) que va hacia la torre fraccionadora V-400; por el fondo del separador de alquitranes V-200 sale una corriente que es succionada por la bomba P-201 A/B, la cual descarga al intercambiador de calor E-201 donde le cede calor al residuo primario, retornando para controlar la temperatura del fondo del separador de alquitranes V-200.

De la misma corriente del fondo, la bomba P-202 A/B envía una parte hacia el calentador F-202 a una presión de 6.0 a 7.0 kg/cm², en esta línea se inserta el residuo primario caliente de la planta primaria, distribuyéndose en dos serpentines a la entrada del calentador F-202 a los cuales se les inyecta vapor de arrastre o proceso.



La misma corriente que va al F-202 se puede desviar a través de un bypass hacia el peine de combustóleo de la succión de la bomba P-203A/B; esta corriente solamente se utiliza cuando el nivel de la torre es alto por falla de la bomba de fondos P-203A/B.

La carga sale del calentador de la columna de vacío F-202 a una temperatura promedio de 380 °C a 390 °C y entra tangencialmente a la torre de vacío V-201 en la zona de alimentación, donde parte de los vapores ascienden a la zona empacada, el resto de esta carga se va al fondo, a la zona de agotamiento en la cual se le inyecta vapor de agotamiento de 3.5 kg/cm². Este vapor sirve para separar los productos ligeros contenidos de esta mezcla de residuos primarios.

Los vapores que ascienden desde la zona empacada llegan hasta el plato No. 10 de la torre de alto vacío V-201, donde se obtiene el nivel de gasóleo pesado, los vapores más ligeros continúan ascendiendo hasta llegar al plato No. 13 donde el gasóleo ligero hace nivel, los vapores aún más ligeros (que son vapor de agua y gases incondensables y condensables) ascienden hasta el domo donde los condensables son retenidos por una malla rompedora de niebla que los retorna al plato No. 16. La mezcla de vapores que lograron pasar esta malla es extraída por el sistema de vacío.

2.2.2 Control de perfil de temperaturas de la torre de alto vacío.

La torre de alto vacío V-201 tiene la distribución de platos y empaques mostrada en la tabla 2.1.

El control de perfil de temperaturas de la torre de alto vacío se realiza por medio de la extracción de gasóleo pesado del plato No. 10 (plato



de extracción total) del cual succiona la bomba P-205 dividiéndose la descarga en dos corrientes, una como reflujo que pasa a enfriarse a través de los intercambiadores de calor E-204 y E-221 que operan en paralelo, se controla la temperatura del plato No. 10, la otra corriente se

TABLA 2.1 Distribución de platos y empaques de la torre de alto vacío.

ZONA	DEL PLATO	AL PLATO	TIPO DE PLATO
Gasóleo ligero	13	16	De cachuchas de burbujeo
Gasóleo pesado	10	12	De cachuchas de burbujeo
Lavado	6	9	Zona empacada con parrilla glitch
Flash	5	5	Plato de separación (tipo palenque)
Fondo	1	4	

envía como extracción del plato, al tambor de gasóleo V-203.

De la succión de la bomba P-205 sale una corriente como succión de la bomba P-207 que descarga arriba de la zona empacada (plato No. 8) que sirve para control de temperatura y lavado de la malla.

Para llevar a cabo el control de perfil de temperatura de la torre V-201 se extrae gasóleo ligero del plato No.13 por medio de la bomba P-204 y P-205, la descarga se divide en dos corrientes:



La primera como reflujo al domo que antes pasa a enfriarse a los intercambiadores de calor E-402 y E-203 que operan en serie, controlando la temperatura del domo.

La segunda corriente se envía como extracción del plato N° 13 al tambor de gasóleo V-203.

El fondo de la torre es succionado por la bomba P-203 A/B dividiéndose la corriente en dos partes: una pasa a través del intercambiador de calor de crudo reducido E-224 A/B que cede calor al residuo primario; la otra corriente pasa a través del directo del intercambiador de calor de crudo carga/residuo de vacío E-222. Las dos corrientes llegan al peine de succión de la P-208 A/B, posteriormente la corriente pasa a través de los generadores de vapor E-202 A/B/C, donde se aprovecha esta temperatura para generar vapor de 10.5 Kg/cm². Esta corriente con menos calor es succionada por la bomba P-208 A/B, la cual descarga a una línea que se divide en dos corrientes: una que pasa a través del controlador de presión, el cual se mantiene con una apertura del 50% hacia la caja enfriadora E-205, de la cual sale a una temperatura aproximada de 170 °C hacia el peine de combustóleo y la otra corriente pasa a través de la caja enfriadora E-1401-2 saliendo con una temperatura alrededor de 190 °C al peine del cabezal de combustóleo; esta corriente pasa hacia un manifold de distribución a tanques por las líneas A y C a una temperatura máxima de 160 °C, a esta corriente se le inyecta para control de viscosidad diluyente.

2.2.3 Fraccionamiento a partir de una carga de vapores

La mezcla de vapores que se obtienen del domo del separador de alquitranes V-200, sirve como carga a la torre fraccionadota de crudo



V-400 que entra por debajo del plato N° 1 a una temperatura de 390 °C, en la cual los vapores ligeros ascienden por el domo hacia el tanque acumulador V-402; por el fondo se extrae una corriente con la bomba P-404 que descarga a una línea que se divide en tres corrientes:

la primera es utilizada para ceder calor a través de los intercambiadores de precalentamiento de carga E-200, al residuo primario a través del plato N° 2. la segunda se pasa manualmente a través de un control de nivel del fondo al acumulador de gasóleo V-203 y la tercera es enviada al peine de combustóleo solamente en caso necesario.

A la mezcla de vapores que salen del domo se le unen las corrientes de gases de primarias 1, 2, 3 y 5, así como la recirculación del control de presión que proviene de la descarga del compresor BB-730, después pasa a condensarse a través de los condensadores de gasóleo E-400 A/B/C/D; el producto de la condensación es recolectado en el acumulador de gasóleo V-402 en este recipiente se tiene la interfase agua, gasóleo y gas.

El agua es eliminada por medio del desaguador V-404 al drene o por la bomba BA-3 hacia el tratamiento de aguas amargas. El gasóleo es extraído por la bomba P-400 A/B/C y reflujada al domo de la torre fraccionadora de crudo V-400. De la misma succión de la bomba P-400 sale una línea hacia la succión de la bomba P-401 A/B/C cuya descarga se divide en dos salidas una va a SLOP y otra a filtración. Esto se realiza con el fin de mantener el nivel de gasoleo en el V-402.

2.3 Análisis HazOp.⁽¹⁾

Son dos los propósitos del análisis de riesgos y operabilidad HazOp:



1. Identificar riesgos y determinar su nivel, así como también establecer las medidas para controlar los riesgos aceptados y reducir el nivel de aquellos que no lo son, con el fin de mejorar la operabilidad de la sección ó unidad de proceso y,

2. Lograr que el personal que participa en las sesiones HazOp, y que está involucrado directamente en la operación de dicha sección ó unidad de proceso, cambie su manera de pensar y actúe, en todo momento, con plena conciencia de los riesgos que implica la operación (fomento de una cultura de seguridad de los procesos).

Son dos características las fundamentales de un análisis HAZOP, que lo distinguen de las demás técnicas y lo hacen mas completo:

Sistemático en cuanto a su metodología y multidisciplinario en cuanto a la base de la información que lo determina

Carácter sistemático: el análisis está 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. Los miembros del equipo exponen las desviaciones, causas, consecuencias y soluciones que se les ocurren, aunque a primera vista parezcan poco razonables ó imposibles.



Acciones previas del equipo HazOp.

1. Obtener un conocimiento detallado del proceso a analizar a través de la actualización y verificación en el campo de DFP's (Diagramas de flujo de proceso) y DTI's (Diagramas de tubería e instrumentación), utilizando la información disponible en los archivos de la refinería, para propósitos didácticos los diagramas utilizados en el presente trabajo son los DFP's de la planta preparadora de carga, los cuales se utilizan para llevar a cabo el análisis HazOp.
2. Revisar los registros históricos de incidentes ó accidentes así como también los registros de calibración, prueba de líneas y válvulas de relevo (PSV's).
3. Conocer y tener a la mano los procedimientos normativos internos, la normatividad local y nacional, y estándares internacionales. Revisar los manuales de operación y mantenimiento, la información del control automático existente, los programas de capacitación y adiestramiento y los planes de emergencia. Toda esta información deberá revisarse de acuerdo a las normas y estándares que apliquen, con el fin de establecer recomendaciones específicas durante y al final del estudio, evitando generalidades.
4. Establecer las reglas de trabajo: puntualidad, participación activa y positiva, evitar las discusiones innecesarias y concentración en el estudio para la generación de ideas.
5. Formar el Acta Constitutiva del grupo multidisciplinario que asistirá a las sesiones de análisis.



Metodología empleada en un análisis HazOp.

La metodología se muestra en la tabla 2.2

Palabras guía utilizadas en un análisis HazOp:

Son palabras sencillas que se usan para calificar el propósito, guían y estimulan el proceso de pensamiento creativo para descubrir las posibles desviaciones de la intención de diseño de un proceso. En la tabla 2.3 se presentan las palabras guía, su aplicación y algunos ejemplos de su uso.

TABLA 2.2 Descripción de la metodología del análisis HazOp.

Descripción de la metodología del HazOp	
1	Delimitar un 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 los 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 asignarle una clase para jerarquizarlas, con la matriz de clase de riesgo para reducir la frecuencia 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.



TABLA 2.3 Definición de las palabras guía.

PALABRA GUIA	APLICACIÓN	EJEMPLO
NO	No se consiguen las intenciones previstas en el diseño.	No hay flujo en una línea.
MÁS/MENOS	Aumento o disminución cuantitativa sobre la intención de diseño.	Más temperatura, mayor velocidad de reacción, mayor viscosidad, etc.
ADEMAS DE	Aumento cualitativo. Se consiguen las intenciones de diseño y ocurre algo más.	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 o acciones transcurren según lo previsto.	La composición del sistema es diferente de la prevista.
INVERSO	Se obtiene el efecto contrario al deseado.	El flujo transcurre en sentido inverso, tiene lugar la reacción inversa, etc.
EN VEZ DE	No se obtiene el efecto deseado. En su lugar ocurre algo completamente distinto.	Cambio de catalizador, fallo en el modo de operación de una unidad, parada imprevista, etc.

Matriz de índice de riesgos.

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



riesgos, en el presente análisis se utilizó una matriz de 4X5, la cual se muestra a continuación:

TABLA 2.4 Matriz de Índice de riesgos

GRAVEDAD		FRECUENCIA				
		Frecuente	Poco Frecuente	Raro	Muy raro	Extrem. raro
		1	2	3	4	5
Catastrófico	1	1	1	1	2	4
Severo	2	1	2	3	3	4
Moderado	3	2	3	4	4	4
Ligero	4	4	4	4	4	4

Las descripciones de las gravedades que corresponden a cada índice de riesgo se muestran en la tabla de gravedad:

TABLA 2.5 Tabla de gravedad.

TABLA DE GRAVEDAD (CONSECUENCIA) DE MATRIZ 4X5		
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 la planta.
2	Severa	Lesiones múltiples/daños mayores a propiedades y pérdidas entre \$2 millones y \$20 millones que generen paros temporales.
3	Moderado	Heridas ligeras/daños menores a propiedades y pérdidas de producción entre \$500 mil y \$2 millones generando un paro parcial.



El tipo de frecuencia se obtiene mediante la experiencia del personal que labora en la planta y se consulta de la tabla 2.6 (tabla de frecuencia):

TABLA 2.6 Tabla de frecuencia.

TABLA DE FRECUENCIA (PROBABILIDAD) DE MATRIZ 4X5		
Num.	Tipo de frecuencia	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 sola vez cada 20 años o durante la vida útil
5	Extremadamente Raro	Ocurre una sola vez en 100 años

Matriz de clase de riesgo

La matriz de clase de riesgo clasifica los índices de riesgo de las recomendaciones y así asignar la prioridad para realizar la acción preventiva o mitigadora mediante los planes 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 (tabla 2.7).



TABLA 2.7 Matriz de clase de riesgo.

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

En la tabla 2.8 se muestran los seguimientos que se les debe dar a las clases de recomendaciones obtenidas en un análisis HazOp.

TABLA 2.8 Seguimiento de las recomendaciones de un análisis HazOp.

Significado de la clase en la matriz de clase de riesgos 4X5			
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 3 a 6 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 controles procedimientos de control del proceso.
4	D	Aceptable	Riesgo generalmente aceptable; no requiere medidas de mitigación.



Por medio del análisis “HazOp” se identifican los escenarios de accidentes que tienen una alta probabilidad de ocurrir y que pueden ocasionar cuantiosos daños. Con estos escenarios se hace un análisis de árbol de fallas y un análisis de consecuencias para cuantificarlos y tomar decisiones de aceptación, elaborar planes de emergencia y de evacuación y establecer medidas de protección para mitigar sus consecuencias. En el presente trabajo se seleccionó el nodo formado por la succión del gasóleo pesado de la torre de alto vacío V-201 a través de las bombas P-203.

La trayectoria del nodo estudiado es la siguiente:

Salida del fondo de la torre V-201, pasando por las bombas P-203 A/B e intercambiadores E-224A/B, E-222, E-202A/B, bombas P-208A/B, cajas enfriadoras E-1401-2, E-205 y salida a limite de batería.

El gasóleo pesado procedente del fondo de la torre V-201 es bombeado a través del tren de enfriamiento mencionado por medio de las bombas P-203 A/B, esto se hace con el fin de aprovechar al máximo el calor que será transferido a la alimentación procedente de las plantas primarias.

El presente nodo fue seleccionado porque la falla de uno de los equipos mencionados, afecta directamente a la torre de alto vacío, uno de los equipos críticos de la planta preparadora de carga.

A continuación se muestran las hojas del análisis HazOp. (Las hojas de resultados se han simplificado para efectos didácticos y no perder la esencia del análisis:



CAPITULO II TRABAJO DE CAMPO



Compañía: Refinería

Área/proceso: Planta Preparadora de Carga

Nodo: Salida del fondo de la torre V-201.

Fecha: 10 de abril de 2003

Hoja de Resultados del Análisis HazOp

Producto: Crudo de Residuo

Palabra guía: Menos		Desviación: Bajo nivel				
Causa	Consecuencias	F	G	Protección	Recomendación	Clase
Fuga en la caja enfriadora 1401- 1/2/3/4/5.	1. Cavitación y daño en las bombas P-203A y/o P-203B. 2. Cavitación y daño en las bombas P-208A y P-208B. 3. Fuga e incendio en las bombas P-203A y/o P-203B. 4. Contaminación al río Coatzacoalcos. 5. Incumplimiento al programa de producción. 6. Paro de planta.	2	1	1. Alarma por bajo nivel 2. Indicador de nivel en campo. 3. Registrador de presión. 4. Indicadores de presión a la entrada y salida de las bombas P-203 A/B; PI-120, 236, 237A y 237. 5. Procedimiento para el control del proceso. 6. Procedimiento de paro de planta. 7. Simulacros contra incendio. 8. Recorridos operacionales cada dos horas. 9. Simulacros operacionales.	1. Reubicación de las cajas enfriadoras E-1401-1/2/3/4/5. 2. Concluir proyecto de sustitución de cajas enfriadoras E-1401-1/2/3/4/5 por cambiadores de calor de tubos adecuados. 3. Solicitar un estudio de factibilidad técnico económico para poner protección contra derrames y/o fugas de la Preparadora de Carga.	A

En este caso la frecuencia **F** es 2, consultando la tabla de frecuencia, (tabla 2.6) este valor quiere decir que este evento es poco frecuente (ocurre más de una vez por año).

Por otro lado, el valor de la gravedad **G** del evento es 1, consultamos la tabla 2.5 de gravedad (consecuencia) de la matriz de 4X5 y



encontramos que el tipo de gravedad es catastrófico (en este caso catastrófico quiere decir que pueden ocurrir daños al medio ambiente y que en caso de ocurrir el evento se necesitara limpiar fuera de las instalaciones de la refinería).

Una vez que el equipo HazOp haya asignado valores a la frecuencia **F** y la gravedad **G** mediante la experiencia multidisciplinaria, se procede a calcular la clase de riesgo, esto se hace mediante la matriz de índice de riesgos (tabla 2.4), en este caso leemos que con una frecuencia **F** de **2** (poco frecuente) y una gravedad **G** de **1** (Catastrófico) se tiene un índice de riesgo de **1**, este mismo valor se lee de la matriz de clase de riesgo 4X5 (tabla 2.7), pero en este caso la clase de riesgo equivalente es **A**.

Teniendo el índice de riesgo que es 1 y la clase de riesgo que es **A**, vemos que en la tabla de significados que el seguimiento que se debe tomar para esta recomendación es que se deben tomar medidas correctivas, mitigar, revisar y en su caso, modificar los procedimientos, en un período de 3 a 6 meses.

Siguiendo el análisis del nodo, se llega a las bombas P-203A/B, estas bombas succionan del fondo de la torre de alto vacío V-201.



CAPITULO II TRABAJO DE CAMPO



Compañía: Refinería

Área/proceso: Planta Preparadora de Carga

Nodo: Salida del fondo de la torre V-201.

Fecha: 10 de abril de 2003

Hoja de Resultados del Análisis HazOp

Producto: Crudo de Residuo

Palabra guía: Más		Desviación: Alto nivel				
Causa	Consecuencias	F	G	Protección	Recomendación	Clase
Falla de las bombas P-203A/B	1. Daños a los internos de la torre de alto vacío V-201. 2. Pérdida de vacío de la torre V-201. 3. Incendio por fugas. 4. Producto fuera de especificación. 5. Incumplimiento al programa de producción. 6. Paro de planta.	2	1	1. Alarma por alto nivel en torre V-201. 2. Control de nivel. 3. Indicador de nivel en campo en torre V-201. 4. Registrador de presión en torre V-201. 5. Indicadores de presión a la entrada y salida de las bombas PI-120, 236, 237A y 237. 6. Simulacros contra incendio. 7. Procedimiento para el control del proceso. 8. Procedimiento de paro de planta. 9. Simulacros operacionales.	1. Instalar circuito de control de flujo de vapor de agotamiento a la torre V-201 con señal de cierre automático de la válvula por alto nivel. 2. Realizar un estudio técnico-económico para la selección de un equipo de bombeo adecuado.	B

En este caso se encuentra que el seguimiento que se le debe dar a las recomendaciones es que se deben modificar los procedimientos y controles, tanto de ingeniería como administrativos en un período de 3 a 12 meses.



3.4 Análisis de árbol de fallas

El análisis de árbol de fallas (FTA por sus siglas en inglés, Fault Tree Analysis) es una técnica cuantitativa de riesgos que nos proporciona la probabilidad ó la frecuencia con que puede ocurrir un evento indeseable, que llamaremos evento culminante ó escenario potencial de accidente. El evento culminante se puede dar mediante la combinación de fallas de un equipo, de sus componentes ó fallas del operador. La técnica FTA usa puertas de entrada y salida, las cuales son representadas por símbolos y por las letras “Y” (que representa el producto) y “O” (que representa la suma).

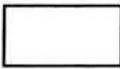
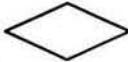
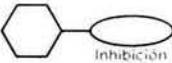
Como método de análisis de riesgos es de los más estructurados, y puede aplicarse a un solo sistema o a sistemas interconectados. La técnica supone que un suceso no deseado (un accidente o una desviación peligrosa de cualquier tipo) ya ha ocurrido, y busca las causas del mismo y la cadena de sucesos que puede hacer que tenga lugar.

El análisis de árbol de fallas descompone un accidente en sus elementos contribuyentes, ya sean estas fallas humanas, de equipos de planta o sucesos externos. El resultado es una representación lógica en la que aparecen cadenas de sucesos capaces de generar el suceso culminante que ocupa la cúspide del árbol de fallas, para la representación lógica se utiliza la simbología que se muestra en la Tabla 2.9.

La simbología para la elaboración del árbol de fallas se puede consultar de la tabla 2.9 del capítulo 2, y en el apéndice B se pueden consultar de forma detallada los cálculos utilizados por la técnica FTA.



TABLA 2.9 Simbología del análisis de árbol de fallas. (1)

Símbolo	Aplicación
	Sucesos intermedios: Resultan de la interacción de otro suceso, que a su vez se desarrollan mediante puertas lógicas.
	Sucesos Básicos: Constituyen la base de la raíz del árbol. No necesitan desarrollo posterior en otros sucesos.
	Sucesos no desarrollados: No son sucesos básicos y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.
	Puertas "O": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Puertas "Y": Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida.
 Inhibición	Puertas inhibición: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia del suceso de entrada y la satisfacción de una condición de inhibición.
	Condición externa: Se utiliza para indicar una condición o un suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas.
 Dentro Fuera	Transferencias: Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol de fallas en otra parte (por ejemplo, en otra página por falta de espacio).

Antes de empezar a construir el árbol de fallas es importante tener un conocimiento profundo del funcionamiento del sistema. Para esto,



el analista deberá recopilar y entender la información relacionada con este sistema. La metodología empleada en la elaboración de un análisis de árbol de fallas es la siguiente:

- 1).**-Identificar la falla del sistema (evento culminante) que va a ser analizada y ubicarla en la parte alta del árbol.
- 2).**-Proceder al próximo nivel del sistema que llamaremos subsistema e identificar las fallas del subsistema que podrían conducir a la falla del sistema.
- 3).**-Determinar la relación lógica entre las fallas del subsistema que son requeridas para producir la falla del sistema. Puede ser el resultado de la combinación de fallas o la ocurrencia de cualquiera de las fallas identificadas.
- 4).**-Usar la estructura lógica de puertas "Y" u "O" para mostrar la relación de fallas del subsistema que producen la falla del sistema. La "Y" significa que para que se presente la falla en el sistema debieron presentarse cada una de las fallas del subsistema, por lo tanto las frecuencias o probabilidades deben ser multiplicadas y la "O" significa que para que se presente la falla en el sistema debió presentarse al menos una de las fallas del subsistema, por lo que las frecuencias o probabilidades en este caso deben ser sumadas.
- 5).**-Proceder al próximo nivel más bajo del sistema y repetir los pasos del 2 al 4 hasta que se hayan identificado todas las fallas del nivel de componentes.
- 6).**-Iniciar con datos de frecuencia o probabilidad de fallas en el nivel de componentes, calcular la frecuencia o probabilidad de las fallas usando las puertas "Y" u "O".
- 7).**-Continuar la estructura lógica indicada por las puertas "Y" u "O" en el árbol de fallas hasta que la probabilidad de la falla del sistema o evento culminante ha sido calculada.



3.4.1 Descripción del escenario para el análisis de árbol de fallas.

Se seleccionó uno de los escenarios obtenidos anteriormente, para realizar el análisis de árbol de fallas, de acuerdo al resultado del Análisis HazOp enfocándose en el evento que se puede presentar con más frecuencia. Dicho escenario es:

“Incendio en la bomba P-203”

El escenario descrito muestra la sucesión de causas que desencadenarían al evento culminante de un incendio. A continuación se describe el escenario.

TABLA 2.10 Descripción del escenario: Incendio en la bomba P-203.

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS		
ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA / FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
Incendio y explosión en la bomba P-203	Se puede producir un incendio por la fuga de sellos en una bomba, debido a que la misma cavite por diferentes causas.	Las consecuencias pueden ser desde daños a la propiedad hasta daños al personal que se encuentre realizando sus labores diarias cerca de este equipo; provocando en ellos quemaduras de distintos grados.

El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos en el árbol de fallas de presente trabajo es el siguiente:



TABLA 2.11 Criterio para asignar probabilidades a los eventos básicos.

Núm.	Criterio	Probabilidad
1	Falla de bomba	1×10^{-1}
2	Falla de interruptor	1×10^{-1}
3	Corto circuito	1×10^{-1}
4	Falta de corriente	1×10^{-1}
5	Falla motor	1×10^{-3}
6	Falla alarma	1×10^{-1}
7	Error de operación	1×10^{-1}
8	Falla mecánica	1×10^{-4}
9	Error de inspección	1×10^{-1}
10	Falla bomba centrífuga	1×10^{-4}
11	(impulsada a motor)	2.4×10^{-6}
12	(en funcionamiento)	2.4×10^{-5}
13	Tubería metálica (sección recta)	2.68×10^{-6}
14	Tubería metálica (conexiones)	5.7×10^{-7}
15	Válvula de control (operación neumática)	3.59×10^{-6}
16	Fuga de gas por falla de línea	1×10^{-1}
17	Error humano (ignición por soldadura o corte)	1×10^{-2}
18	Falla de detector de gas o fuego	8.76×10^{-2}
19	PSV'S mal calibradas	1×10^{-2}
20	Falla aplicación de soldadura	1×10^{-2}
21	Falla de inspección (comisión)	1×10^{-2}
22	Falla al tomar la acción correcta después de la observación	1×10^{-3}
23	Falla control de calidad	1×10^{-3}
24	Falla mantenimiento (calibración o recubrimiento anticorrosivo)	1×10^{-2}
25	Falla operacional	1×10^{-3}
26	Falla secundaria debido a efectos ajenos	1×10^{-9}
27	Falla procedimiento operacional	1×10^{-2}
28	Falla indicador de nivel	8.76×10^{-2}
29	Error válvula de cierre rápido	8.76×10^{-2}



NOTA: Estas probabilidades están calculadas para el período de un año.

Una vez obtenida la probabilidad del árbol de fallas, podemos ver que tan probables son los eventos o el evento que se escogió y clasificarla de acuerdo a la tabla 3.4.

En la página 46 se presentan el árbol de fallas para la bomba P-203 que se obtuvo tomando en cuenta todas las fallas probables que pudieran presentarse en la bomba operando normalmente, en la página 47 se encuentra el árbol de fallas modificado por las protecciones que han sido resultado del análisis para evitar las fallas. A partir del árbol modificado se obtienen las recomendaciones para evitar el evento culminante.

TABLA 2.12 Probabilidad de ocurrencia de eventos analizados

Num.	PROBABILIDAD(P)	FRECUENCIA PROBABLE (F)
1	1	Inminente (puede ocurrir en cualquier momento)
2	1×10^{-1}	Muy probable (ha ocurrido o puede ocurrir varias veces al año)
3	1×10^{-3}	Probable (ha ocurrido o puede ocurrir en un año)
4	1×10^{-5}	Poco probable (no se ha presentado en 5 años)
5	1×10^{-7}	Improbable (no se ha presentado en 10 años)
6	1×10^{-9}	No se ve probabilidad de que ocurra

Los resultados obtenidos del análisis de árbol de fallas del escenario “incendio en la bomba P-203”, se muestran en la tabla 2.13.

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
INCENDIO POR FUGA DE LA BOMBA P-203	2×10^{-2}	2×10^{-2} año ⁻¹

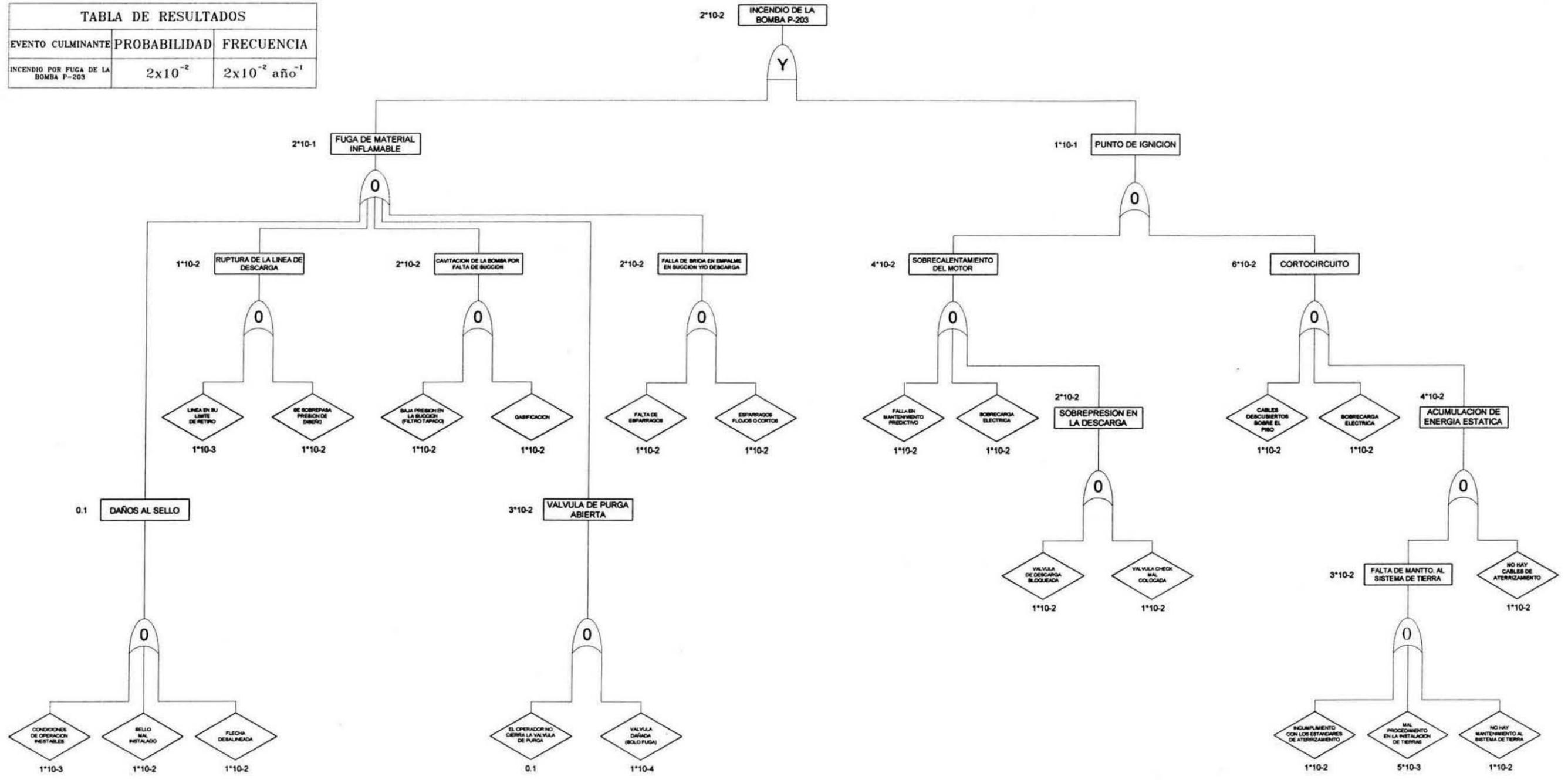


TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
INCENDIO POR FUGA DE LA BOMBA P-203	5.69×10^{-5}	5.69×10^{-5} año ⁻¹

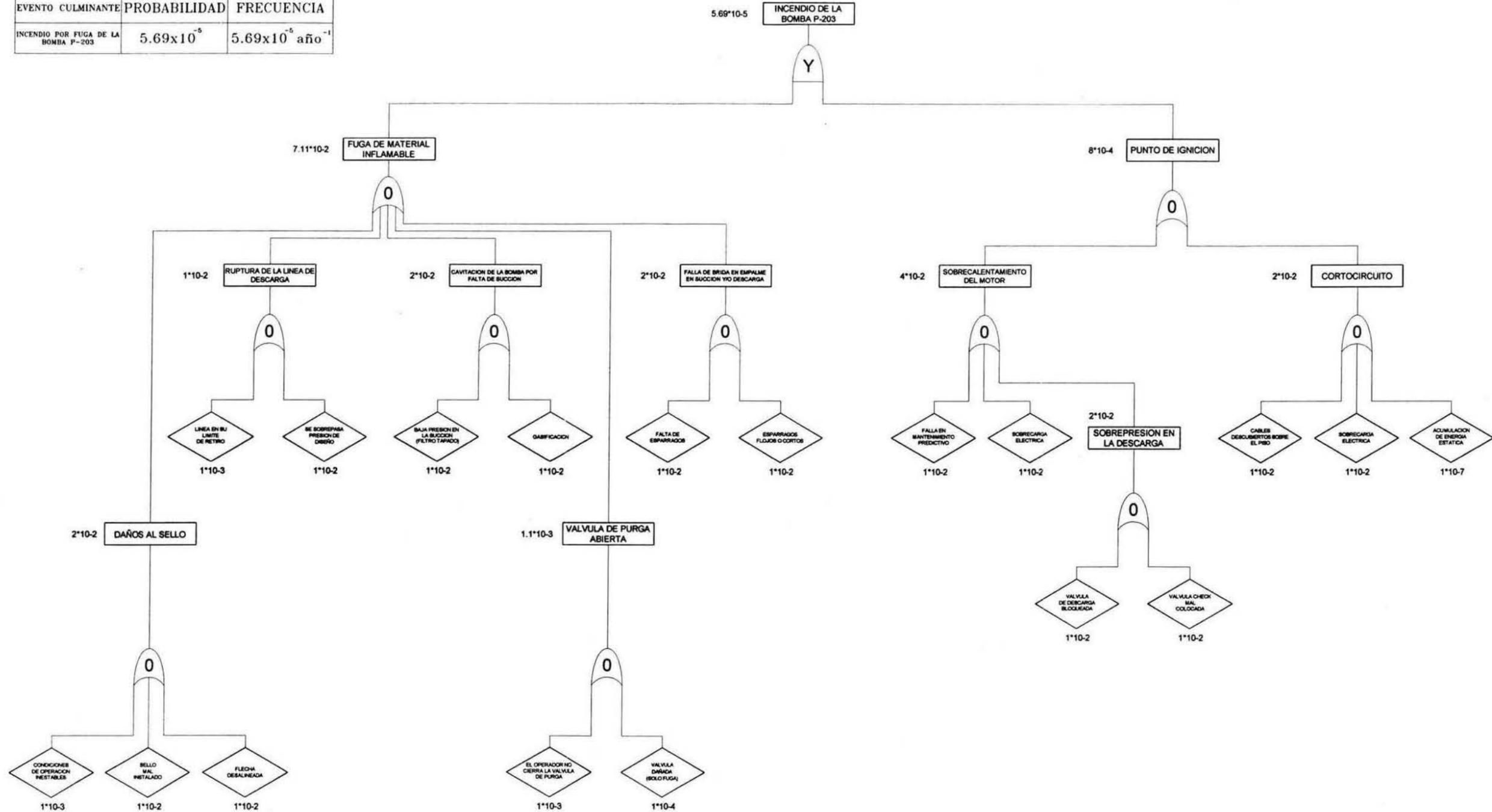




TABLA 2.13 Resultados del análisis de árbol de fallas.

ARBOL	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
SIN PROTECCIONES	2×10^{-2}	2×10^{-2} año ⁻¹
CON PROTECCIONES	5.69×10^{-5}	5.69×10^{-5} año ⁻¹

Si se expresa la probabilidad de este evento en por ciento, se tiene que hay un 0.02 % de probabilidad de ocurrencia en un año.

De acuerdo a la probabilidad y frecuencia calculadas para dicho árbol, es altamente probable que ocurra el evento de incendio de una bomba en un año, de acuerdo a la tabla de probabilidad y frecuencia probable, sin embargo poniendo atención en el desarrollo del árbol de fallas, en algún punto se consideró que no se tenían los procedimientos de la planta y/o no se aplicaban correctamente, punto que de acuerdo al análisis HazOp no es verdadero, ya que la planta cuenta con los procedimientos operativos y de emergencia necesarios, se aplican y están difundidos entre el personal; además existe el evento dentro del mismo árbol, correspondiente al mantenimiento preventivo y predictivo a equipo mecánico, que para efecto del árbol de fallas se tomó en consideración que no se realiza correctamente, punto que tampoco es verdadero, ya que de acuerdo al análisis HazOp, dentro de las protecciones frecuentemente mencionadas, se encuentra el mantenimiento a equipo mecánico; con todo esto, se quiere enfatizar lo importante que es llevar a cabo en tiempo y forma todos los programas y procedimientos con los que cuenta la Refinería ya que de aplicarse correctamente es inminente el peligro, en este caso de incendio de una bomba y posterior explosión,



ocasionando pérdidas de diferente grado para la Refinería, que es precisamente lo que se pretende evitar a toda costa.

3.4.2 Resultados y recomendaciones del análisis de árbol de fallas (FTA).

Con el análisis de árbol de fallas aplicado al escenario incendio de la bomba P-203, se encontró que su probabilidad de ocurrencia a la condición actual de estudio es 2×10^{-2} año⁻¹, este valor nos indica que los riesgos no pueden ser aceptados.

Para que los riesgos de dichos escenarios puedan ser aceptados, es necesario implementar las recomendaciones mostradas en la tabla 4.2.

Al aplicar esos cambios la probabilidad calculada aplicando la técnica FTA es de 5.69×10^{-5} , este valor es menor al obtenido anteriormente, con estos resultados se puede ver la importancia de esta herramienta en el análisis de riesgos para cuantificar y controlar la probabilidad de que suceda un evento no deseado.



TABLA 2.14 Recomendaciones del Análisis del Árbol de fallas

Escenario: Incendio en la bomba P-203 de gasoleo pesado	
PROBABILIDADES DE QUE OCURRA EL EVENTO:	Aplicando las recomendaciones: 5.7x10 ⁻⁵
	Sin recomendaciones: 2.2 x10 ⁻²
<ol style="list-style-type: none">1. Instalar sistema de recuperado de purgas de bombas.2. Colocar protección para sobrecarga eléctrica.3. Asegurar la calidad y cantidad de refraccionamiento.4. Verificar la adecuada instalación de la bomba.5. Instalar detectores de fuego.6. Mantener el nivel de aceite de lubricación.7. Dar mantenimiento adecuado al sistema de lubricación.8. Asegurar el mantenimiento de protección (antichispas).9. Mantenimiento preventivo adecuado.	

3.5 Análisis de consecuencias

El Análisis de Consecuencias (AC) es una técnica que sirve para identificar las posibles formas de progresión de eventos que involucren sustancias peligrosas y así poder cuantificar tanto la magnitud como el alcance de sus efectos sobre las personas, el equipo 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.

Un análisis de consecuencias se puede desarrollar a través de siete etapas:

- La selección de los eventos indeseables que se deben analizar,
- La especificación de los escenarios,
- La determinación de la mecánica de liberación o de la exposición del material tóxico, flamable o explosivo.
- La determinación de la dispersión del material,
- La cuantificación de las consecuencias sobre el entorno,
- La formulación de las recomendaciones, y finalmente,
- La documentación del análisis de consecuencia.

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). 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 exposición) que deberán ser contemplados en el análisis de riesgos.

Mediante modelos de cálculo podemos evaluar las consecuencias de los siguientes escenarios accidentales:

Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo térmico:

- Incendio de charco (POOL FIRE).
- Llamorada (FLASH FIRE).
- Dardo de fuego (JET FIRE).
- Bola de fuego (FIREBALL).



Escenarios que determinan fenómenos peligrosos de tipo mecánico:

- Explosión de nube inflamable no confinada (UVGE).
- Explosión confinada de vapores (GVE).
- Estallido de recipiente a presión.
- Explosión BLEVE (Boiling liquid expanding vapor explosion).

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):

- Chorro turbulento (JET).
- Dispersión instantánea (bocanada).
- Dispersión continua (emisión prolongada en el tiempo).
- Dispersión transitoria (emisión limitada en el tiempo, a menudo variable).
- Dispersión neutra o Gaussiana (dispersión de gases o vapores con densidad similar al aire).
- Dispersión de gases pesados (la gravedad influencia de manera destacada la evolución de la nube en los primeros momentos).

Una vez conocidos los efectos del accidente (radiación, onda de presión, etc.) hay que establecer cuáles 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,
- muerte por quemaduras.



Onda de choque:

a) Daños directos:

- Rotura 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.

Productos tóxicos:

- intoxicación de moderada a grave
- muerte por intoxicación.

Las consecuencias sobre el equipo pueden deducirse de valores tabulados (caso de las ondas de choque) o de determinados modelos semiempíricos (caso de la radiación térmica). Finalmente, las consecuencias sobre el entorno, que en algunos casos pueden aparecer a medio o largo plazo, hay que estimarlas con modelos de tipo más cualitativo.

3.6 Aplicación del análisis de consecuencias.

Los escenarios con grado de riesgo que se consideren críticos se evaluarán de manera cualitativa para identificar las consecuencias del riesgo mediante la técnica *Análisis de Consecuencias*, de acuerdo a los puntos 9.6 y 9.7 de la *Norma para realizar Análisis de Riesgos a Instalaciones Industriales*, emitido por la Subdirección de Auditoría



en Seguridad Industrial y Protección Ambiental de PEMEX Refinación.

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 el análisis de consecuencias en la Refinería se utilizó un software especializado para simular los eventos y determinar los radios de afectación, conocido como **PHAST** (Process Hazard Analysis Safety Tool) versión 6.0. Este software ha sido aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (**INE**), en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (**EPA**) y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (**OSHA**), además de ser sugerido en la norma mencionada anteriormente, para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgo. A continuación se describen las consideraciones para la simulación de eventos:

1. Para la generación de eventos se utilizaron las siguientes fuentes:
 - a. Los resultados obtenidos con la aplicación de la metodología HazOp.
 - b. Las estadísticas de incidentes y accidentes de la Refinería.
2. Las composiciones de las mezclas generadas para este estudio, fueron tomadas de los datos reportados en los libros de diseño de la planta Preparadora de Carga, del balance de materia del Diagrama de Flujo de Proceso.
3. 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 0,50" por corrosión debido a las condiciones.
- b. Las condiciones de presión y temperatura se tomaron de los diagramas de flujo de proceso de cada equipo.
- c. Se contempló un tiempo de duración 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.
- d. Básicamente se consideraron tres condiciones ambientales: en la primera se consideró una velocidad del viento de **1,5 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 **5,5 m/s**, con estabilidad ambiental clase **C** por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo y como tercera condición se utilizó la velocidad de **4.0 m/s** con estabilidad ambiental clase **D**, por ser las características promedio menos favorables para generar eventos de riesgo.
- e. Se consideró una temperatura ambiental media del área de 31.5°C y una humedad relativa media anual de 95%.
- f. 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. (tablas 2.15 y 2.16)

TABLA 2.15 Algunos niveles de radiación

RADIACIÓN	DESCRIPCIÓN
1,5 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 2° 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 pilotada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 1% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como zona de alto riesgo

Tabla 2.16 Niveles de sobrepresión

PRESIÓN	DESCRIPCIÓN
0,5 lb/pulg ² (0,034 bar)	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 (0,068 bar)	Es la presión en la que se presenta destrucción parcial de casas y daños reparables a edificios; provoca el 1% de ruptura de tímpanos y el 1% de heridas serias por proyectiles. De 0,5 a 1 lb/pulg ² se considerará como la zona de amortiguamiento
2 lb/pulg ² (0,136 bar)	A esta presión se presenta el colapso parcial de techos y paredes de casas. De 1 a 2 lb/pulg ² se considera como la zona de exclusión (riesgo)



La mayoría de los accidentes en refinerías son resultado de derrames de materiales tóxicos, inflamables y explosivos. Por ejemplo, un material es descargado por orificios originados por daños del material de los tanques, por fugas en uniones bridadas, por fugas por sellos de bombas, por fugas por partes internas de válvulas y por una gran variedad de otras fuentes.

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 se encuentra “del lado seguro”. A continuación se describirán los tipos de eventos que pueden ocurrir como resultado de la descarga de un líquido presionado, un líquido no presurizado y de un vapor o gas presurizado.

Pool Fire: Cuando un líquido inflamable es descargado de un tanque de almacenamiento o una tubería, se forma una alberca o charco. Al estar formándose el charco, parte del líquido se comienza a evaporar; si los vapores se encuentran sobre su límite inferior de inflamabilidad y con una fuente de ignición mientras se encuentran los vapores, se forma un incendio del charco o “*Pool Fire*”.

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



combustión. Este proceso de combustión tiene una corta duración y los daños son de baja intensidad.

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 ambiente. Si el material entrara en contacto con una fuente de ignición, entonces ocurre un *Jet Fire* o fuego de chorro.

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

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

BLEVE Explosión de Vapores en Expansión de un Líquido en Ebullición "*BLEVE*", ocurre cuando en forma repentina se pierde el confinamiento de un recipiente que contiene un



líquido sobrecalentado o un licuado a presión. La causa inicial de un *BLEVE* es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente sobre el nivel del líquido, esto hace fallar el material y permite la repentina ruptura de las paredes del tanque. Un *BLEVE* puede ocurrir como resultado de cualquier mecanismo que cause la falla repentina de un recipiente y permita que el líquido sobrecalentado flashee. Si el material líquido/vapor descargado es inflamable, la ignición de la mezcla puede resultar en un *fireball*.

VCE Explosión por una Nube de Vapor “VCE”, puede definirse simplemente como una explosión que ocurre en el aire ambiente y causa daños de sobrepresión. Comienza con una descarga de una gran cantidad de líquido o gas vaporizado de un tanque o tubería y se dispersa en la atmósfera, de toda la masa de gas que se dispersa, sólo una parte de esta, se encuentra dentro de los límites superior e inferior de explosividad, y esa masa es la que después de encontrar una fuente de ignición genera sobrepresiones por la explosión. Este evento se puede generar tanto en lugares confinados como en no confinados.

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



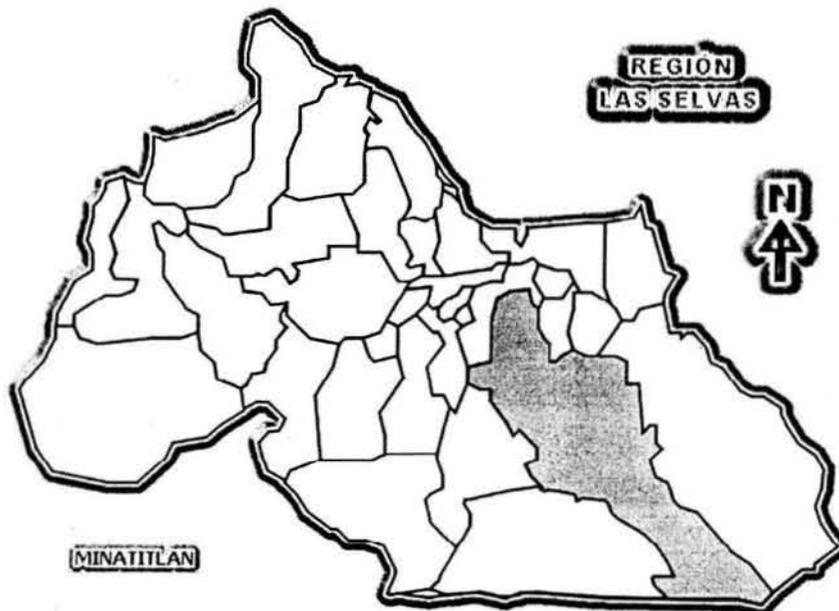
materiales dependen de la concentración del material en el aire y de su toxicidad.

4. Por último, en esta planta específicamente se considera el daño ambiental, provocado por un derrame de gasóleo debido a una fuga por la caja enfriadora E-1401-1/2/3/4/5, ya que está muy cercana al río Coatzacoalcos, y un derrame sería catastrófico, inclusive la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), podría cerrar la Refinería, por lo que se hacen las siguientes consideraciones:
 - a. **Localización.** Minatitlán Se encuentra ubicado en la zona del Istmo del Estado de Veracruz, en las coordenadas 17° 59' latitud norte y 94° 33' longitud oeste, a una altura de 20 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Coatzacoalcos, al noreste con Ixhuatlán del Sureste, al este con Moloacán, al sur con el Estado de Oaxaca, al suroeste con Hidalgotitlán, al noroeste con Cosoleacaque. Su distancia aproximada al sureste de la capital del Estado, por carretera es de 400 Km.
 - b. **Extensión.** Tiene una superficie de 4,123.91 Km²; cifra que representa un 5.66% total del Estado de Veracruz.
 - c. **Orografía.** El municipio se encuentra ubicado en la zona Istmica del Estado; la mayor parte de su suelo es de extensas llanuras.
 - d. **Hidrografía.** Se encuentra regado por una abundante red de corrientes pluviales, en la que destacan los ríos Uxpanapa, Nanchital y Coachapan. Cuenta con algunos arroyos y lagunas tributarias del río Coatzacoalcos.



- e. **Clima.** Su clima es ecuatorial con una temperatura promedio de 25.6 °C; su precipitación pluvial media anual es de 2,041 mm.
- f. **Principales Ecosistemas.** Los ecosistemas que coexisten en el municipio son el de bosque alto con bejuco y plantas epífitas que permanecen siempre verdes, en las partes bajas, caoba, amate, donde se desarrolla una fauna compuesta por poblaciones de conejos, tlacuaches, iguanas y venados.
- g. **Recursos Naturales.** Su riqueza está representada por minerales como el azufre, banco de arena y banco de grava.
- h. **Características y Uso de suelo.** El suelo es tipo nitosol y vertisol, con propiedades ácidas, sus características son acumulación de arcilla en el subsuelo. Tienen vegetación de selva, son susceptibles a la erosión. Se utiliza en la agricultura un porcentaje menor al 20%.

Fig 1. Localización geográfica de Minatitlán Veracruz





Los modelos matemáticos (modelos fuentes) simulan la descarga de estos materiales, generando información muy útil para determinar las consecuencias en un accidente, incluyendo la tasa 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 los sistemas de seguridad existentes en la instalación.

Los modelos fuentes están constituidos por ecuaciones empíricas o fundamentos que representan el proceso fisicoquímico que ocurre durante una descarga de un material.

Para el caso de un recipiente cilíndrico vertical, con una presión P constante abierto a la atmósfera, la variación de la descarga con respecto al tiempo se puede calcular de la siguiente ecuación.

$$m^*(\text{Kg/s}) = FcA\rho \sqrt{\left(\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh_o\right) - \frac{\rho g(FcA)^2 t}{A_R}} \quad (1)$$

donde:

- P_1 es la presión en el interior del recipiente (igual a P_2 si el recipiente esta venteado a la atmósfera),
- h_o es la altura inicial del líquido sobre el orificio,
- t es el tiempo en segundos y
- A_R es el área transversal del cilindro.
- El tiempo para que el recipiente se vacíe hasta el nivel del orificio t_f se obtiene haciendo $m^*=0$ en la ecuación (1).

$$t_f = \frac{A_R}{FcAg} \sqrt{\frac{2(P - P_2)}{\rho} + 2gh_o} \quad (2)$$



Y la cantidad total (kg) de líquido derramado hasta ese momento viene dado por

$$M_T = A_R h_o \rho \quad (3)$$

Para el cálculo del diámetro del charco se recomienda la correlación de (Elia, 1991)

$$r = \left(\frac{t}{B} \right)^{0.75} \quad (4)$$

Donde t es el tiempo en el que duró la descarga y

$$B = \left(\frac{9\pi\rho_l}{32gm''} \right)^{0.333} \quad (5)$$

Donde m'' es la velocidad de descarga (kg/s).

Una vez derramado el líquido que en nuestro caso es gasoleo pesado, este se empieza a evaporar, si la temperatura del charco es menor a la temperatura de ebullición, la velocidad de vaporización se puede calcular por la siguiente ecuación

$$V_{vap}(t) = \frac{Q_{vap}}{\Delta h_v(T_{charco})} \quad (6)$$

Donde ΔH_v es el calor de vaporización, calculado en función de la temperatura del charco (T_{charco}), usando las propiedades de la librería del programa (PHAST).

La forma del charco a cierto tiempo(t) esta idealizado a un cilindro circular de radio r(t) y un espesor uniforme h(t) con un punto de origen localizado en el lugar de la fuga, por otro lado la máxima



rapidez de quemado se recomienda utilizar la ecuación Burgess and Hertzberg (1974)

$$m_{\max} = 10^{-3} \frac{\Delta H_c}{\Delta H^* v} \quad (7)$$

Donde:

- m_{\max} = esta en kg/sm^2
- ΔH_c es el calor de combustión y
- $\Delta H^* v$ es el calor de vaporización modificado a las condiciones ambientales.

Para la altura de la flama se recomienda la correlación de Thomas (Mudan 1984)

$$H = 42D \left[\frac{m}{\rho_a \sqrt{gD}} \right]^{0.61} \quad (8)$$

Donde:

- D es el diámetro de la flama
- m rapidez de quemado del charco
- ρ_a densidad del aire
- g la aceleración gravitacional

Se llevo acabo el análisis proveyendo con datos reales del equipo al programa PHAST (Process Hazard Analysis Software Tools).

Los datos necesarios para la evaluación de estos modelos del escenario se muestran en la tabla 3.7 los cuales son específicos para



el caso de una fuga de gasóleo pesado por la línea de succión de la bomba P-203 y de las condiciones ambientales prevalecientes.

TABLA 2.15 Datos necesarios para realizar el análisis de consecuencias.

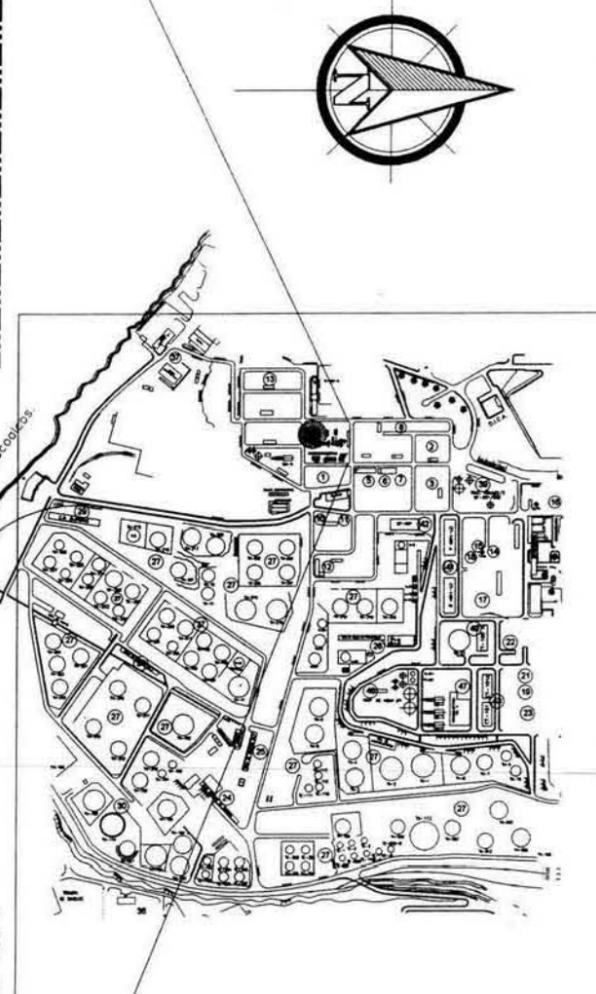
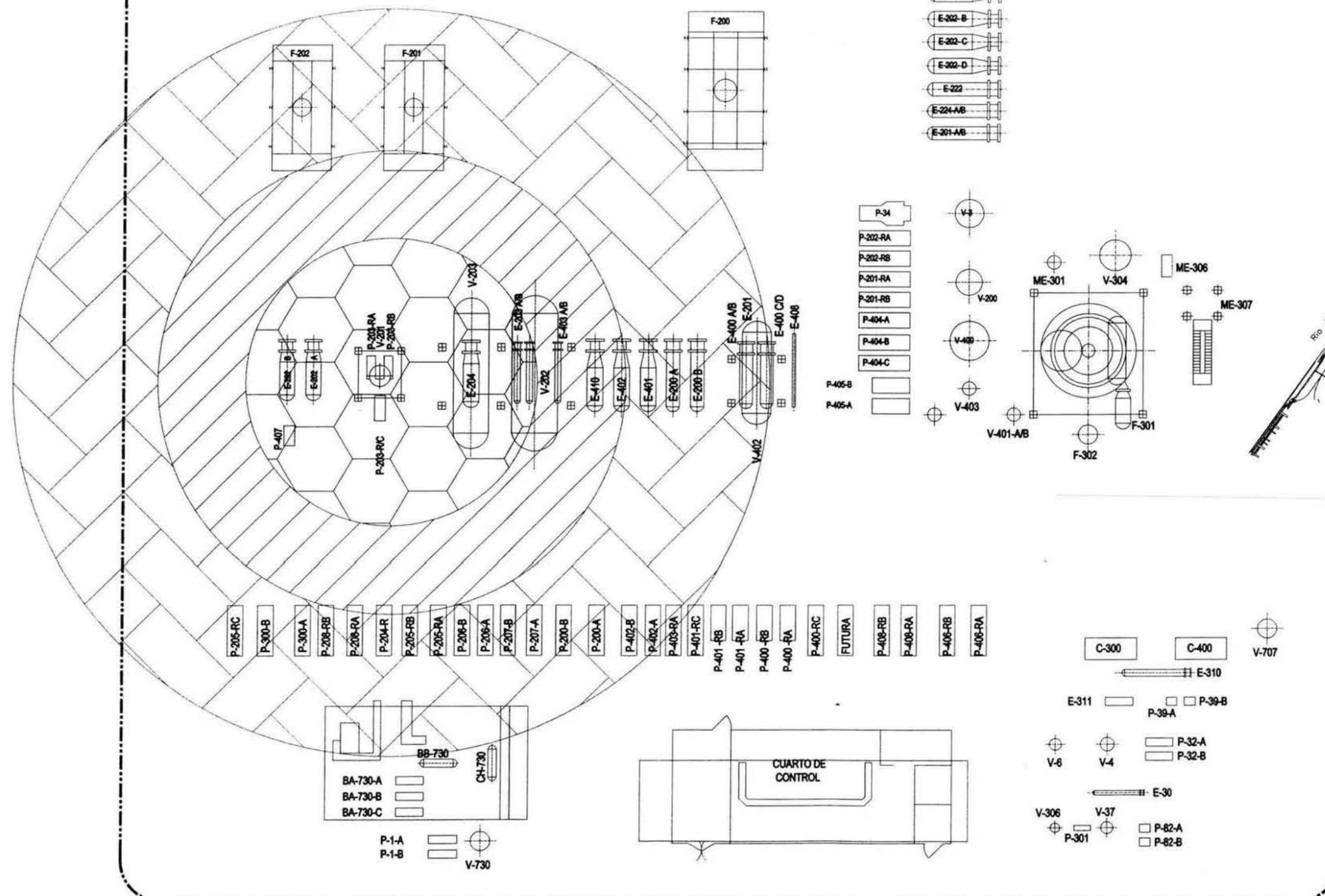
Datos de diseño, operación y otros Datos fisicoquímicos de la sustancia			
Tipo de Contenedor	Tubería	Sustancia	Gasóleo pesado
Diámetro de la tubería	8 in	Fórmula Química	De C12 a C20
Longitud de la tubería	10 m	Peso molecular Promedio	200
Masa total descargada	10,000 Kg	Gravedad específica	0.8
Temperatura Ambiente	30 °C	Diámetro de la Fuga	0.1016 m

Para este caso en particular se usaron los siguientes modelos:

- **Velocidad de descarga:** Este modelo se utilizó debido a que en caso de fuga o descompostura de una válvula es un valor indispensable para cualquier cálculo posterior.
- **Incendio del "Charco":** con este modelo se puede calcular la forma de la flama es decir su altura, dirección y el ángulo en base a la dirección del viento.

Los resultados de dicho cálculo se encuentran en la tabla 2.16 y en el diagrama Anexo.

ZONA	NIVEL DE RADIACION	RADIO DE AFECTACION	DESCRIPCION DEL DAÑO	
	A	12.5 kW/m ²	20.7 m	ENERGIA MINIMA PARA LA IGNICION PILOTEADA DE LA MADERA Y FUNDICION DE TUBERIA DE PLASTICO. CON DE INSTALIDAD EN 1 MINUTO. ZONA DE ALTO RIESGO.
	B	5 kW/m ²	33.3 m	CAUSA DAÑOS AL PERSONAL SI NO SE PROTEGE ADECUADAMENTE EN 20 SEGUNDOS, SUFRIENDO QUEMADURAS DE SEGUNDO GRADO. ZONA DE AMORTIGUAMIENTO.
	C	1.4 kW/m ²	52.5 m	FLUJO TERMICO EQUIVALENTE A LA RADIACION SOLAR DE VERANO Y MEDIO DIA. ZONA DE SEGURIDAD.



**TABLA 2.16 Resultados del Análisis de Consecuencias para la bomba P-203**

Velocidad de descarga	0.89 Kg/s
Cantidad descargada	10 ton
Estado	Líquido
Área de la Alberca incendiada	615 m ²
Radio de fuego de la alberca	14 m
Altura de la flama	2.6 m
Radio de la zona de desastre	33.3 m
Radio de la zona afectada	52.5 m

La radiación procedente de un incendio puede causar efectos adversos tanto a personas como a instalaciones. De una manera directa, los sujetos expuestos pueden sufrir quemaduras de diversos grados, con resultado de muerte a partir de ciertos valores de intensidad de radiación recibida y del tiempo de exposición. Por otro lado, los efectos térmicos pueden afectar equipos e instalaciones debilitando sus estructuras y destruyéndolas total o parcialmente, lo que a su vez puede dar origen a muerte o heridas en individuos no expuestos directamente a la radiación. En el incendio de charco, por lo general las personas expuestas a niveles peligrosos de radiación reaccionan a tiempo, buscando refugio o escapando.

Como elemento de comparación, la intensidad de radiación que recibimos del sol es aproximadamente 1 Kw/m², niveles de radiación equivalentes a 1.6kw/m² pueden tolerarse sin sensaciones de incomodidad durante periodos de tiempo relativamente prolongados. En la tabla 3.9 se muestran algunos valores de nivel de radiación y sus consecuencias.

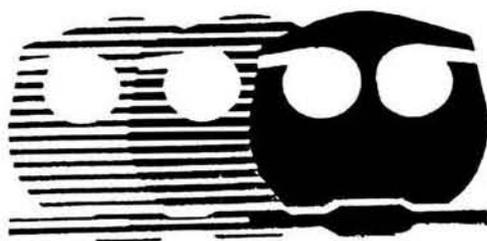


TABLA 2.17 Vulnerabilidad a la radiación térmica

Nivel de radiación (kw/m²)	Consecuencias
1.5	Máx. soportable para personas con vestimentas normales y un tiempo prolongado.
3	Zona de alerta
5	Máx. Soportable por personas protegidas con trajes especiales y tiempo limitado máximo 3 min.
8	Umbral de letalidad (1% de afectación por incendio para un tiempo de exposición de 1 min.
12.5	Ignición de recubrimientos plásticos. Extensión del incendio
40	Destrucción de equipos/recipientes

Con los datos obtenidos podemos determinar que la distancia segura del incendio es de 52.5 m del centro en el que tiene lugar el evento (considerando como centro el punto de fuga) con un nivel de radiación de 1.5 kw/m² donde cualquier persona puede estar sin sufrir daños.

Conclusiones y recomendaciones





Recomendaciones

La seguridad industrial es una actividad muy importante que se debe llevar a cabo en forma grupal para que sea una herramienta eficaz para la prevención y control de riesgos, y de esta manera reducir costos sociales, económicos y ambientales.

Recomendaciones del análisis HazOp

Dentro de las recomendaciones emitidas por el análisis Hazop se encuentran efectuar un estudio técnico-económico para la instalación de un equipo adecuado de bombeo para la torre de alto vacío de la planta preparadora de carga además se recomienda la reubicación de las cajas enfriadoras de gasóleo pesado para evitar la contaminación del medio ambiente en caso de que llegara a ocurrir el evento.

Las recomendaciones del análisis HazOp son:

- Solicitar un estudio de factibilidad técnico económico para poner protección contra derrames y/o fugas de la Preparadora de Carga.
- Concluir proyecto de sustitución de cajas enfriadoras por cambiadores de calor de tubos adecuados.
- Reubicación de las cajas enfriadoras E-1401-1/2/3/4/5

Recomendaciones del análisis de árbol de fallas

Los resultados y recomendaciones del árbol de fallas se enfocan básicamente en las bombas de succión del fondo de la torre de alto vacío, en este caso las recomendaciones son:

- Instalar sistema de recuperado de purgas de bombas.



- Colocar protección para sobrecarga eléctrica.
- Asegurar la calidad y cantidad de refraccionamiento.
- Verificar la adecuada instalación de la bomba.
- Instalar detectores de fuego.
- Mantener el nivel de aceite de lubricación.
- Dar mantenimiento adecuado al sistema de lubricación.
- Asegurar el mantenimiento de protección (antichispas).
- Mantenimiento preventivo adecuado.

Recomendaciones del análisis de consecuencias

El evento analizado es un fenómeno de tipo térmico que en este caso es el incendio de un charco (pool fire) causado por la fuga de la succión de la bomba P-203

A partir de los datos reportados de la tabla 2.16 se recomienda que en caso de ocurrir una fuga de gasóleo pesado, el área segura se encontrará a partir de los 52.5 m, esta recomendación se hace con el fin de calcular la magnitud del daño en caso de que llegara a ocurrir el evento y en su caso establecer las salvaguardas pertinentes.

Mediante la combinación de estas tres técnicas se pone de manifiesto que el equipo crítico para la planta preparadora de carga es la torre de alto vacío, porque en caso de que fallen los equipos auxiliares, el producto obtenido quedará fuera de especificación, no se cumplirá con el programa de producción y puede llegar a haber un paro total de la planta, por lo que en este caso la seguridad industrial también es una herramienta importante para cumplir con los más altos estándares de calidad.



Lista de buenas prácticas de operación

El siguiente listado de actividades son buenas prácticas de operación, mantenimiento y seguridad industrial, siendo éstas las protecciones para la prevención de eventos extraordinarios en la planta preparadora de carga. 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.

Lista de buenas prácticas de operación

NUM.	ACTIVIDAD O PROGRAMA
1.	Lectura y registro de variables operativas en campo
2.	Recorridos en campo
3.	Programa mensual de recorrido de válvulas automáticas
4.	Mantenimiento preventivo y predictivo a bombas
5.	Mantenimiento preventivo a instrumentos
6.	Rotación de equipo dinámico
7.	Calibración Preventiva de Líneas
8.	Calibración Preventiva de Equipos
9.	Revisión y Calibración de Niplerías
10.	Calibración de Válvulas de Alivio
11.	Revisión de Válvulas de Venteo y Arrestadores de Flama
12.	Prueba de Hermeticidad en Válvulas Check
13.	Revisión de Tornillería
14.	Evaluación de Corrosión en Plantas
15.	Evaluación de Corrosión en Torres de Enfriamiento
16.	Inspección de Ductos
17.	Inspección de Dispositivos de Seguridad de Equipos
18.	Inspección Preventiva de Calentadores y Hornos
19.	Revisión de Tuberías
20.	Inspección Visual de Soloaires
21.	Inspección Preventivas de Riesgos
22.	Revisión, Prueba y Limpieza de Drenajes
23.	Inspección Preventiva a Subestaciones y Registros Eléctricos
24.	Simulacros Operacionales
25.	Revisión de Equipos de Protección Personal Fijos
26.	Pláticas de Seguridad
27.	Campaña de Seguridad

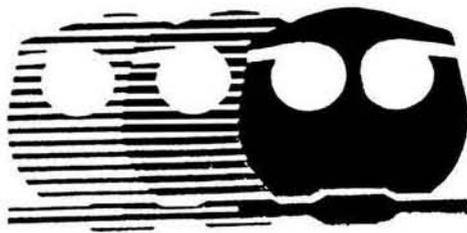
**Lista de buenas prácticas de operación (continuación)**

NÚM.	ACTIVIDAD O PROGRAMA
28	Revisión y Mantenimiento de Equipo de Protección Contra incendio
29	Prueba de Operación de Vehículos de Contra incendio
30	Simulacros Contra incendio
31	Revisión y Mantenimiento de Equipo Fijo de Contra incendio

Conclusiones

- Mediante la combinación de varias técnicas de análisis de riesgos se obtienen resultados altamente confiables.
- La seguridad industrial es una actividad muy importante que se debe llevar a cabo en forma grupal para que sea una herramienta eficaz para la prevención y control de riesgos, y de esta manera reducir costos sociales, económicos y ambientales.
- El análisis de riesgos constituye una simple fracción del esfuerzo que se está realizando en la creación de una nueva cultura de la Seguridad Industrial, encaminada a la protección ambiental y la seguridad integral de los trabajadores y de las comunidades cercanas a las industrias.

Glosario





Accidente.- Evento no deseado que provoca daños a las personas, al ambiente, y/o instalaciones.

Causas.- Es lo que hace que un incidente o accidente ocurra. Por ejemplo, falla de un equipo, de un instrumento, error humano, condiciones metereologicas, etc. Mediante un estudio mas profundo, es posible encontrar las causas mencionadas.

Circuito.- Es la parte del proceso en la que se divide el mismo para su mejor estudio.

Código.- Conjunto de normas y reglas adoptadas como obligatorias y tienen fuerza y efectos de una ley.

Condición.- es una descripción del estado de un componente o de parte de la planta.

Consecuencias.- Es el daño leve o grave, producto de un incidente o accidente, que se ocasiona a las personas dentro y fuera de la planta de proceso, al medio ambiente y a las instalaciones.

Desviación.- Palabra guía que indica una modificación cualitativa o cuantitativa de los parámetros a analizar.

Dique.- Muro hecho para contener las aguas u otros materiales líquidos.

Escenario.- Situación en donde existe un riesgo potencial que tiene probabilidad elevada de causar pérdidas.

Evento.- es un cambio en el estado de la planta o una acción realizada por una persona.



Evento culminante.- Suceso último generalmente de mayores proporciones producto de una serie de sucesos menores que puede estar relacionados o no entre sí.

Factor de visión.- Es la radiación recibida, en ausencia de absorción por la atmósfera, por una superficie situada fuera del perímetro de un incendio de características conocidas.

Frecuencia.- Número de fallos o errores que tiene un componente, equipo o humano, por alguna unidad de tiempo determinada

Ignición.- Proceso de incendio de una sustancia combustible. Se produce cuando la temperatura de la sustancia se eleva hasta el punto en que las moléculas reaccionan espontáneamente con el oxígeno, y la sustancia empieza arder. Esta temperatura se llama temperatura de ignición o punto de ignición.

Incidente.- Suceso no deseado, que bajo ciertas circunstancias, ligeramente diferentes, pueden provocar daños a las personas, al ambiente y/o instalaciones

Índice de riesgo.- Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad. Índice de Riesgo (perdida/año)= Índice de Frecuencia (accidente /año) x Índice de gravedad (perdida/accidente)

Límite de Inflamabilidad.- Límites superior e inferior de concentración, a una temperatura y presión dadas de gases inflamables en el aire expresadas en porcentaje de combustible por volumen entre los cuales son capaces de arder.

Nodo.- Es la subdivisión de un sistema de proceso, que tiene un origen, en donde comienzan nuevas propiedades del material



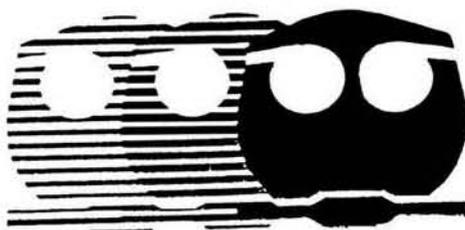
procesado, y un destino, en donde nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y suficientemente grande para que sea significativo.

Norma.- (a) declaración oficial detallada de especificaciones y requisitos por ejemplo para equipos o ensayos (b) Objeto que sirve como base para comparaciones o aceptaciones.

Palabra guía.- Es aquella que indica la desviación parcial o total de la intención.

Parámetro.- Es la manifestación física o química del proceso como el flujo, nivel, presión, temperatura velocidad, composición, mezcla, ignición, etc.

Bibliografía





-
- 1) Santamaría Ramiro J. M y Braña Aisa, P.A., **Análisis y Reducción de Riesgos en la Industria**, Fundación MAPFRE(1994)
 - 2) De la cruz G. Cornelio, et al., **Análisis de riesgos de procesos (ARP): Un esquema de mejora de la técnica "HazOp"** Tecnol. Ciencia, Ed IMIQ **15**(2): 49-60, 2000
 - 3) Baybutt, Paul. **Major hazards análisis: an improved method for process hazard análisis**. Process safety progress **22**(1): 21-26,2003
 - 4) J. R. Taylor , **Risk Analysis for process plant pipelines and Transport**, Chapman & Hall (1994)
 - 5) **The Guidelines Process Quantitative Risk Analysis**. Second Edition. 2000.Center for Chemical Process Safety of the American Institute Of Chemical Engineers, New York.
 - 6) **Guidelines For Hazard Evaluation Procedures**. Second Edition. April 1995.Center for Chemical Process Safety of the American Institute Of Chemical Engineers, New York.
 - 7) Butron Silva Arturo, **Apuntes del Curso administración Integral del Riesgo (ARI)**, Facultad de Química, Ciudad Universitaria,1999
-



-
- 8) Brown, A. E. P. 1999. **Risk Analysis: An Investment in Engineering**. Process Safety Progress, **12**(3):121-125.
 - 9) Process Hazard Analysis Software Tool, **"PHAST User's Manual"** versión 6.0
 - 10) **Apuntes del taller "Hazard assessment and risk analysis techniques for process industries"** presentado por "Continuing Engineering studies of the University of Texas at Austin", Instituto Mexicano del Petroleo.
 - 11) ANSI/ISA-S84.01-1996. **"Application of Safety Instrumented Systems for the Process Industries"**. Instrumentation, Systems and Automation Society, 1996.
 - 12) Butron S. Arturo. **"Principios generales de la ingeniería de seguridad"**. Revista de la Asociación Mexicana de Seguridad e Higiene. 1993.
 - 13) Rao V. Kolluru, Steven M. Bartell, Robin M. Pitblado, R. Scott Stricoff. **"Manual de Evaluación y Administración de Riesgos (para profesionales en cuestiones ambientales, de la salud y seguridad)"**. Ed. Mc. Graw-Hill, 1ª edición. 1998.
 - 14) Rea Soto Rogelio y Salvador Sandoval Valenzuela. **Análisis de riesgos en la industria química**. Boletín IIE, mayo-junio del 2000.}
-



-
- 15) Gary, H. James **petroleum refining**, Marcel Dekker, New York 1994.
 - 16) Jones D.S.J. **Elements of petroleum processing** John Wiley and sons, West Sussex, England. 1995.
 - 17) R. N. Watkins **petroleum processing**, Gulf Publishing Company, Houston, Texas 1979.
 - 18) Othmer, Donald Frederick Kirk, and Raymond Eller, **Encyclopedia of chemical technology**, J. Wiley 3rd ed., New York 1984.
 - 19) Watkins, Robert N. **Petroleum refinery distillation** Gulf Publishing. 2nd edition, Houston 1979.
 - 20) **Perry's chemical engineers' handbook** 6 ed. New York McGraw-Hill, 1984.
 - 21) Considine Douglas M. **Energy technology Handbook** 2nd ed. New York McGraw-Hill, 1984.
 - 22) Foust, Alan Shivers **Principles of unit operations** J. Wiley New York 1960.
 - 23) McCabe, Warren Lee **Unit operations of chemical engineering**. New York, McGraw-Hill. 1956.
-



-
- 24) Hernandez Madrid, Milleria **Aplicacion de un sistema de informacion de los diagramas tecnicos industriales (sidti), en la planta primaria no. 5 (area 4) de la refinaria Gral. Lazaro Cardenas de Minatitlan, Veracruz.** México, 2002 Tesis profesional UNAM.
- 25) González Cubero Francisco, Luis Moneo Peco, J. A. Vilchez, Xavier Pérez-Alavedra. **Riesgo Industrial: Análisis, cálculos y representación de consecuencias.** Consejería de Tecnología, Industria y Comercio, Región de Murcia. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Asociación Española de Ingeniería de Proyectos. Marzo 2002. Zaragoza, España.
- 26) Alonso de florida Gerardo y Guzmán Perera Ricardo **Las relaciones humanas en la ingeniería química.** México, 1985 UNAM Tesis Profesional, UNAM.
- 27) Balderas Gonzáles Norma Alicia **El aspecto humano de la seguridad industrial.** México, 1985 UNAM Tesis Profesional, UNAM.

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA