



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO

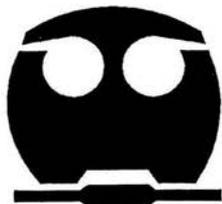
FACULTAD DE QUÍMICA

“EL ANÁLISIS DE RIESGOS COMO HERRAMIENTA
PARA LA MEJORA DE LA UNIDAD DE REGENERACIÓN
CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR), EN UNA PLANTA
REFORMADORA DE NAFTAS”

T E S I S

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

MARÍA CRISTINA LORETO VIRUEL



MÉXICO, D.F.

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUÍMICA

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

Presidente.	Prof.	Ernesto Pérez Santana
Vocal.	Prof.	Modesto Javier Cruz Gómez.
Secretario.	Prof.	Néstor Noé López Castillo
1er. Suplente.	Prof.	Baldomero Pérez Gabriel
2o. Suplente.	Prof.	Euberto Hugo Flores Puebla

SITIO DONDE SE REALIZÓ EL TEMA:

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

Refinería "Miguel Hidalgo", Tula, Hidalgo.

Asesor



Dr. Modesto Javier Cruz Gómez.

Supervisor Técnico

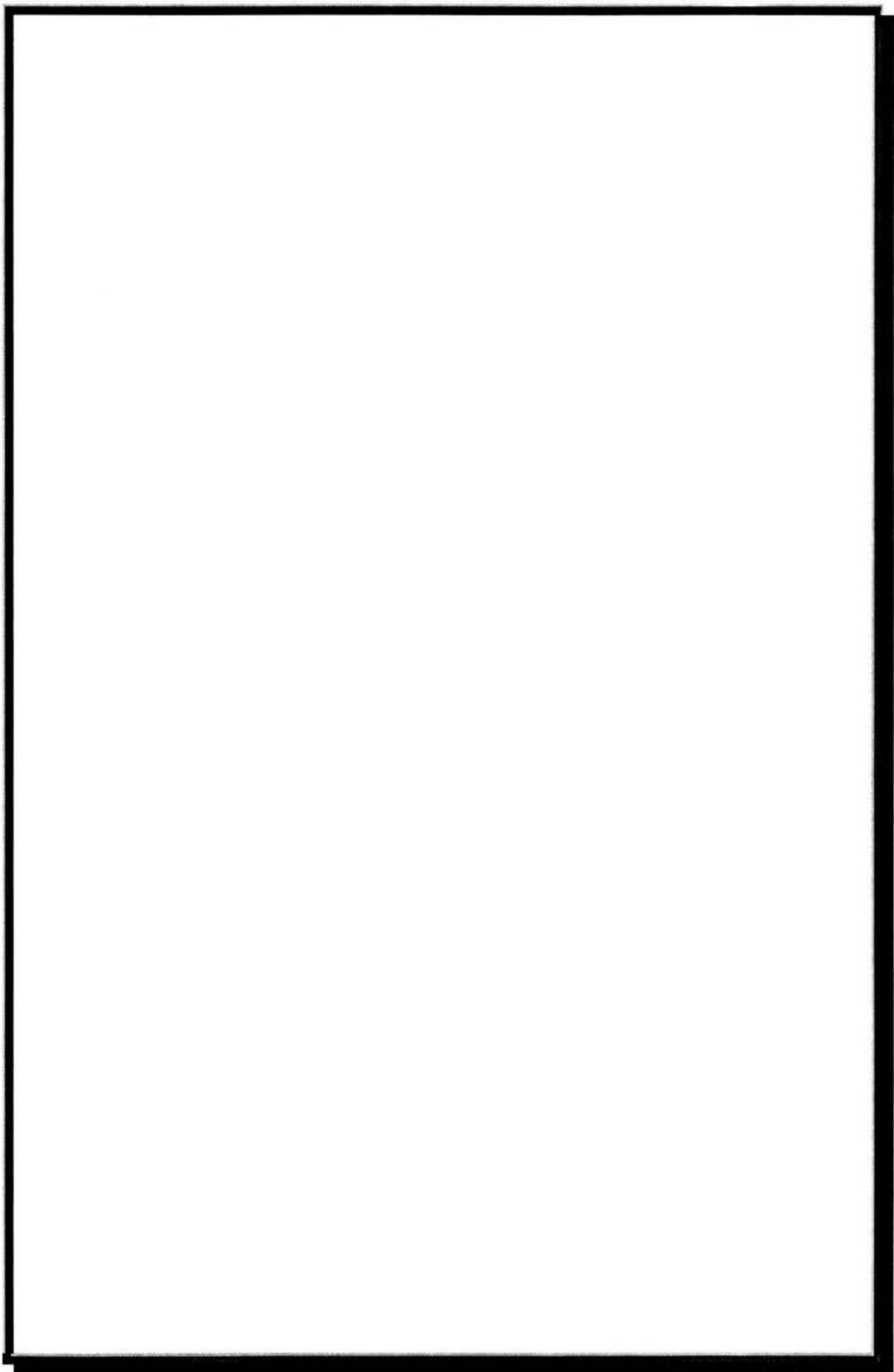


T.Q. Hugo Luna Miranda

Sustentante



Ma. Cristina Loreto Viruel



A LA POBLACIÓN UNIVERSITARIA

*Antes de entrar a la universidad me hubiera gustado saber...

1. Que puedo cambiar muchísimo y ni siquiera notarlo.
2. Que puedes querer a muchas personas de diferentes formas.
3. Que los niños de la universidad... también avientan papelitos.
4. Que si fuiste inteligente en la prepa... ¿importa?, es pasado ¿no?
5. Que copiar puede ser sinónimo de verificar o corregir.
6. Que puedes estar en una fiesta la noche anterior del examen final.
7. Que si llevas una chamarra que te cubra completamente del frío, todos te preguntarán: ¿dónde cayó la nevada?, y que si vas arreglada (o) más de lo normal, te preguntarán: ¿dónde es la fiesta?
8. Que existen materias que requieren más tiempo que todas las clases juntas.
9. Que puedes saber todo y reprobar el examen.
10. Que puedes no saber nada y sacar una buena calificación.
11. Que la mayor parte de mi educación la obtendré fuera del salón de clases.
12. Que la casa es un gran lugar para visitar cuando hay exámenes.
13. Que es posible estar solo aún cuando estás rodeado de mil personas.
14. Que tus amigos tomarán caminos diferentes, pero nunca se olvidarán de la amistad.
15. Que un gansito y un refresco son suficientes cuando tienes hambre.
16. Que cada reloj en el campus tiene diferente hora.
17. Que UNOS ZAPATOS Y PANTALONES CÓMODOS son tus mejores compañeros si de pasear en CU se trata.
18. Que los AMIGOS son quienes hacen de este, un lugar valioso e importante.
19. Valió la pena salirme de clases para apoyar a los Pumas en nuestro estadio Olímpico Universitario.
20. Que la **UNAM** fue, es y seguirá siendo "**NUESTRA MÁXIMA CASA DE ESTUDIOS**"

Porque al pasar unos años después de graduarte... tal vez no recordarás muy bien lo que aprendiste en clases, pero siempre recordarás todo aquello que viviste con tus amigos... con quienes estudiaste, trabajaste, te desesperaste, lloraste, gritaste y festejaste, con quienes compartiste todo tu tiempo...

"Quien logra hacer un amigo en la Universidad, logra hacer un amigo para toda la vida"

¡GOOYA! ¡GOOYA!
CACHUN CACHUN RA RA, CACHUN CACHUN RA RA,
¡GOOYA!
iiiUNIVERSIDAD!!!

Lo siento para los que son burros, borregos, linceas, tigres, lobos, gamos, frailes y/o cualquier otra mascota... pero esta es la porra PUMA, la mejor.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

AGRADECIMIENTOS

A la "UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO", máxima casa de estudios; por abrirme las puertas y formarme como profesionista.

A todos mis maestros de la "FACULTAD DE QUÍMICA", por transmitirme sus conocimientos y experiencias las cuales me servirán en mi vida profesional y personal, siempre estaré orgullosa de haber sido parte de ésta Universidad y Facultad.

Al Ingeniero Filemón Cervantes, por su infinita ayuda y paciencia al resolver mis preguntas y dudas, y por los consejos que me brindó para que este trabajo mejorara.

Al Doctor Javier M. Cruz Gómez por haberme dado la oportunidad de trabajar en éste proyecto.

A la Refinería "Miguel Hidalgo", por las facilidades y el apoyo brindado para la realización de este trabajo y por dejarme cumplir mi sueño de conocer ese gran mundo de la refinación del petróleo desde dentro.

A mis sinodales, Néstor Noé López Castillo y Ernesto Pérez Santana porque gracias a sus comentarios, pude concluir ésta tesis.

*Es muy agradable ser importante,
pero es más importante ser agradable.
Anónimo.*

*El que degrada a los demás,
se degrada a sí mismo.
Anónimo.*

DEDICATORIAS

A mi tía Felisa, porque sé que desde donde se encuentre, siempre me estará acompañando y usted sabe muy bien tía cuánto lamento no haberme despedido.

A DIOS, que en todo instante de mi vida ha estado a mi lado y no me ha dejado sola en ningún momento.

A mis Padres, primero porque me dieron la vida, y segundo por haberme dado la oportunidad a mis hermanos y a mí de estudiar una carrera y poderla consumir.

A mi mamá Adelfa Viruel, que siempre nos ha dado TODO lo que ha estado a su alcance y si no lo ha estado, ha trabajado durísimo todo el tiempo para poderarnos dar, y porque nos has enseñado a que si queremos tener algo debemos luchar para obtenerlo. Gracias Delfa, porque con tu gran carácter también nos has enseñado a defendernos ante la vida y ser muy independientes ante todo, te quiero mucho.

A mi papá Alfonso Loreto, por confiar en mí y dejarme terminar mis estudios. Gracias Poncho, por tu ejemplo de trabajo constante.

A mis hermanos: Ross, Lety y Ángel porque me han tenido paciencia para terminar mi carrera y por su apoyo.

A Marco Espejel, que desde que entré a la gloriosa "Facultad de Química" ha tenido que tenerme paciencia en cuestiones de tiempo y aunque muchas veces se enojó por vernos tarde, poco tiempo o no vernos, yo sé que por el amor que me tiene, me ha echado la mano y comprendido en ese aspecto, te agradezco gordito por seguir a mi lado a través de todos estos años y porque me has apoyado y confiado en mí para terminar la carrera. Gracias mi amor por todo el tiempo que hemos compartido juntos y por todo el que nos falta, "te amo".

A Rosa Loreto, a quien admiro bastante por su dedicación, constancia y siempre desde que estaba pequeña, se ha preocupado por mis estudios. Te agradezco el demostrarme que si se quiere lograr algo sólo es cuestión de decidirse y administrarse bien en lo que respecta a tiempo para lograrlo. Gracias huesito también porque comparto muchas ideas y gustos contigo.

A Leticia Loreto, a quien también admiro por los logros que ha tenido a pesar de la adversidad y con la cual he compartido muchos momentos chistosos e ideas. Gracias trompas por ayudarme y apoyarme en todo momento.

A Ángel Loreto, que me ha ayudado también cuando he tenido dudas de trabajos en lo que ha estado a su alcance. Gracias Facho.

A mi sobrino Ángel Velázquez Loreto (que de angelito no tiene nada), con el que he pasado muchísimos ratos alegres, y que he visto crecer durante todos estos años, él, que a sus ocho años me ha enseñado mucho a pesar de ser aún un niño, también me ha dejado recordar cosas de cuando yo tenía esa edad y que gracias a su inocencia he aprendido que a los niños no se les debe mentir y nunca se puede estar enojado con ellos, que si los sabemos escuchar y comprender, ellos te responderán de la mejor manera, también porque hemos compartido momentos viendo películas, jugando, bailando, cuando iba al kínder, en sus bailables, etc. Gracias chaparrito cabezón, pelos de chayote por todo tu cariño y por llenar de alegría nuestras vidas y aprender tanto de tí.

A Ángel Velázquez, por su apoyo, por preocuparse por mí y por ser tan buena onda conmigo. Gracias Simpson.

A mis mejores amigos de la Facultad: Viri, Isaac, Jimmy, Rulo, Sú y Santos, con los que me llevo súper, y con los que he tenido momentos y pláticas agradables y muy interesantes, que cuando uno estaba deprimido el sólo verlos sabía que podía contar con ellos y que te iban a echar porras para seguir adelante. Gracias a todos por el apoyo que me han dado y los consejos de amigos, muy buenos por cierto, porque me demuestran que me estiman como yo a ellos y deseo de corazón que ésta amistad perdure para toda la vida.

A : Lubanski, Claus Equihua, Karem, Topo, Jorge, Trini, Bam Bam, Miguel Cárcamo, Carmen, Magali, Neto y todos los demás con quienes compartí las aulas de la Facultad así como momentos y pláticas muy buenas.

A mis amigos y compañeros del CEASPA y del Laboratorio: Anucha, Reynaldo, Jessy, Isrra, Miguel, Güigüis, Hugote, Chucho, Ale, Toñoño, Jesús, Felipe, Lalo, Javier, Mille, Braulio, Lobo, Saúl, Fany, Esmeralda, Adriana, Susana, Paola, Sony Torres, Oscarín, Ángel, Rjta, Abraham, Claus, Orla, Jaz, Aldo, Tenango, Fermín, Griselda, Adriana, Claudia, Edgar, Miriam, Carlos Andrés, Nick y todos los demás por si me faltaron, con los que compartí muchas horas de trabajo, pero se hacían menos pesadas con el ambiente y porque he llevado una gran relación con todos ellos y sé que se puede convivir muy padre con todos. Gracias a todos por su amistad y por haber compartido conmigo todo este tiempo.

A quienes estuvieron a cargo de los proyectos: Daniel, Sonia Monroy, Ramón, Marco, José, y Héctor, por la ayuda que me brindaron. Gracias.

A mis compañeros y jefes de la Secretaría del Medio Ambiente: Mario, Paco, El Inge, Vale, Sonia, Blanca, Señora Inés, Señora Esther, Señor María Isabel. Gracias por el apoyo y las facilidades que me brindaron cuando estuve realizando mi servicio social con ustedes.

"Un amigo es un hermano que elegimos".

Francisco José Droz.

*"¡Qué difícil es ganar un amigo en un año,
y que fácil es perderlo en un momento!".*

Anónimo.

*"Dar, me produce más felicidad que recibir,
no porque sea una expresión de privación,
sino porque en el acto de dar, está la expresión de mi vitalidad."*

Anónimo.

Tu enemigo puede ser tu amigo, si le permites ser quien es.

Anónimo.



*Es verdad que el cambio conlleva el riesgo del fracaso,
esa es la principal razón del temor a la libertad.
Pero también es verdad que en la vida no hay errores,
sólo lecciones que aprender.
Anónimo.*

RESUMEN

La industria de refinación del petróleo y en general cualquier centro de trabajo debe tener como prioridad "**la seguridad**", tanto de personas, como del medio ambiente y de los bienes materiales, por tal motivo se tiene que hacer algo para que no ocurran accidentes no deseados.

Uno ignora cual útil puede ser el analizar los riesgos que puede haber dentro de un centro de trabajo hasta que se hace un estudio previo, minucioso y cuidadoso para encontrar posibles fallas.

Los accidentes casi siempre se caracterizan por la falta de previsión, la falta de análisis y casi siempre se debe a la mala gerencia o mala administración, no es una sola persona que no siguió un procedimiento o cometió algún error, uno siempre termina por ver que las condiciones son descuidado, mala organización y falta de un procedimiento.

Debido a todo lo anterior, en este trabajo de tesis se realizó un análisis de riesgos en la planta CCR de la refinería de Tula teniendo como resultado una serie de recomendaciones que sirven para identificar y tratar de mitigar los posibles accidentes que pudieran suscitarse dentro de dicha refinería, para esto se utilizaron tres técnicas:

1. Análisis de riesgos y operabilidad (HazOp).
2. Análisis de árbol de fallas.
3. Análisis de consecuencias.

Por último cabe mencionar que las políticas y procedimientos de seguridad sólo son efectivos si son entendidos, implementados, ensayados y revisados, es decir, deben ser administrados rigurosamente y eso exige el compromiso y la participación de todos, desde el presidente hasta el guardia de seguridad, cualquier falla podría resultar en un accidente catastrófico.

Ver también **Apéndice H**.



ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	I
Índice de Contenido	II
Lista de abreviaturas	VII
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	
1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO	1
1.2 OBJETIVOS	18
1.3 ETAPAS DEL PROYECTO	19
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 CONCEPTOS BÁSICOS	20
2.2 INTERPRETACIÓN DEL RIESGO	21
2.2.1 Administración de riesgos	21
2.2.2 Nivel de riesgo y toma de decisiones	21
2.2.3 Evaluación del riesgo	23
2.2.4 Gerencia del riesgo	23
2.2.5 Preparación previa al Análisis de Riesgos	24
2.3 ANÁLISIS DE RIESGOS	24
2.3.1 METAS, ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS	25
2.3.2 ETAPAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS	26
2.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS	28
2.4.1 MÉTODOS COMPARATIVOS	29
2.4.1.1 Comparación con códigos, estándares y normas	29
2.4.1.2 Lista de comprobación o verificación (Checklist)	29
2.4.1.3 Análisis histórico de accidentes	30
2.4.2 ÍNDICES DE RIESGOS	32
2.4.2.1 Índice Dow (de incendio y explosión)	32
2.4.2.2 Índice de incendio, explosión y toxicidad (Mond)	34
2.4.3 MÉTODOS GENERALIZADOS	35
2.4.3.1 Análisis de modos de fallas y sus efectos (FMEA)	35
2.4.3.2 Análisis de árbol de sucesos (ETA)	37
2.4.3.3 Análisis de error humano	37
2.4.3.4 Análisis "What-if?" ("¿Qué pasa si...?")	39



2.5 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL PRESENTE TRABAJO	40
2.5.1 Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp, por sus siglas en inglés)	40
2.5.1.1 Metodología para el estudio HazOp	42
2.5.2 Análisis de Árbol de Fallas (AAF)	51
2.5.2.1 Metodología para el Análisis de Árbol de Fallas	52
2.5.3 Análisis de Consecuencias	54
2.5.3.1 Modelos para Análisis de Consecuencias	56
2.5.3.2 Ecuaciones de modelamiento	57
CAPÍTULO III. TRABAJO DE CAMPO	
LA PLANTA REFORMADORA DE NAFTA II	64
3.1 INTRODUCCIÓN	64
3.2 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE LA UNIDAD CCR-2	64
3.3 OBJETIVO DEL CAMBIO AL PROCESO	90
3.4 ANÁLISIS DE RIESGOS HAZOP	91
3.4.1 PERÍODO DEL ESTUDIO DE LAS SESIONES HAZOP	92
3.4.2 NODOS SELECCIONADOS PARA ESTE ESTUDIO	93
3.4.3 REGISTRO DE LAS SESIONES HAZOP	93
HOJAS HAZOP	94
3.5 NÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	119
3.5.1 CRITERIO PARA LA ASIGNACIÓN DE PROBABILIDADES A LOS EVENTOS BÁSICOS EN UN ÁRBOL DE FALLAS	119
3.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS PARA EL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	119
3.5.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	120
3.6 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	120
3.6.1 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN	121
3.6.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE EFECTOS DE INCENDIO, EXPLOSIÓN Y DISPERSIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN LA PLANTA HIDROS 2.	123
3.6.3 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN POR FUGA EN BRIDA DE LA LÍNEA DE SUMINISTRO DE HIDRÓGENO A CCR	125



CAPÍTULO IV. RECOMENDACIONES Y CONCLUSIONES	
4.1 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS "HAZOP"	127
4.2 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS	132
4.3 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS	133
4.3.1 LISTA DE BUENAS PRÁCTICAS DE OPERACIÓN	135
4.4 CONCLUSIONES GENERALES	137

APÉNDICES

APÉNDICE A ACCIDENTES CATASTRÓFICOS A NIVEL MUNDIAL A PARTIR DE 1974	138
APÉNDICE B AGENTES PERTURBADORES DE ORIGEN QUÍMICO	139
APÉNDICE C GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS PARA ESTE TRABAJO	143
APÉNDICE D MODELO PARA EL CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL ÁRBOL DE FALLAS POR EL MÉTODO DE CONJUNTOS MÍNIMOS	151
APÉNDICE E TÉRMINOS USADOS EN EL ESTUDIO DE ACCIDENTES EN DONDE INTERVIENE EL FUEGO	153
APÉNDICE F DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE MODIFICACIONES (REVAMP)	165
APÉNDICE G MÁS ACERCA DE LA REFINERÍA MIGUEL HIDALGO	166
APÉNDICE H MÁS SOBRE SEGURIDAD	171
APÉNDICE I DIFERENTES PLANTAS QUE OPERAN EN LA REFINERÍA DE TULA	172
BIBLIOGRAFIA	191

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁGINA
Tabla 2.1 Diferentes categorías para la evaluación de riesgos y sus respectivas características	23
Tabla 2.3 Clasificación de las técnicas de Análisis de Riesgos	28
Tabla 2.4 Palabras guía utilizadas en el Análisis HazOp	45
Tabla 2.5 Matriz generalizada de posibles desviaciones	46



Tabla 2.6 Frecuencias	47
Tabla 2.7 Gravedades	47
Tabla 2.8 Matriz de Riesgos	48
Tabla 2.9 Matriz de Clases de Riesgos	48
Tabla 2.10 Clases de Riesgos	49
Tabla 2.11 Símbolos de las compuertas lógicas usadas en un Árbol de fallas	53
Tabla 2.12 Relación de distancia escalada y presión en una explosión	63
Tabla 3.1 Nodos seleccionados	93
Tabla 3.2 Criterio de probabilidades en el Árbol de Fallas	119
Tabla 3.3 Fundamento de escenario elegido	120
Tabla 3.4 Niveles de Radiación	122
Tabla 3.5 Niveles de Sobrepresión	123
Tabla 3.6 Descripción de los escenarios de accidentes	124
Tabla 3.7 Datos requeridos para cada modelo	124
Tabla 3.8 Radios de afectación	125
Tabla 3.9 Condiciones referentes a las distancias dentro del límite de inflamabilidad	125
Tabla 3.10 Efectos del Flash Fire	126
Tabla 3.11 Explosión de una nube de vapor no confinada	126
Tabla 4.1 Recomendaciones obtenidas en el Análisis de Riesgos HazOp, en orden jerárquico	127
Tabla 4.2 Recomendaciones del Análisis de Árbol de Fallas	133
Tabla 4.3 Lista de buenas prácticas de operación	136

ÍNDICE DE FIGURAS

	PAGINA
Figura 2.1 Utilidad de un Análisis de Riesgos	25
Figura 2.2 Etapas del Análisis de Riesgos	26

**INDICE DE DIAGRAMAS**

	PAGINA
Diagrama 3.1 Diagrama de Vista General Módulo CCR.	181
Diagrama 3.2 Diagrama de Tubería e Instrumentación del Regenerador	182
Diagrama 3.3 Diagrama de Tubería e Instrumentación del Compresor de Regeneración GB-201	183
Diagrama 3.4 Diagrama de Tubería e Instrumentación de la sección de gas de regeneración	184
Diagrama 3.5 Diagrama de Tubería e Instrumentación Lower Surge Drum	185
Diagrama 3.6 Diagrama de Tubería e Instrumentación de Regenerator Peripherals	186
Diagrama 3.7 Diagrama de Efectos de Radiación por Jet FIRE debido a fuga en brida en línea de suministro de hidrógeno a CCR	187
Diagrama 3.8 Diagrama de efectos por Sobrepresión retardada debido a fuga en brida de línea de suministro de hidrógeno a CCR	188
Diagrama 3.9 Diagrama de Árbol de Fallas para fuga de gas ácido en Torre Lavadora FA-205	189
Diagrama 3.10 Plano de localización de equipos (Plot Plan), de la U-500 y la parte de CCR.	190

**LISTA DE ABREVIATURAS.**

AAE	Análisis de Árbol de Eventos.
AAF	Análisis de Árbol de Fallas.
AC	Análisis de Consecuencias.
ACGIH	<i>American Conference of Governmental Industrial Hygienist.</i>
API	<i>American Petroleum Institute.</i>
APR	Análisis Preliminar de Riesgos.
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers.</i> (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
ASTM	<i>American Society for Testing Materials.</i>
BLEVE	<i>Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion.</i> Explosión por Expansión del Vapor de un Líquido en Ebullición.
CCR	Regeneración Continua de Catalizador.
CL	Concentración Letal.
CUT SET	Conjuntos de Separación o Corte.
DFP	Diagrama de Flujo de Proceso.
DL	Dosis Letal.
DTI	Diagrama de Tubería e Instrumentación.
EAR	Estudios de Análisis de Riesgo.
EBP	Punto Final de Ebullición
EMERG 2	Programa de Emergencia 2.
ETA	<i>Event Tree Analysis (Ver AAE).</i>
FMEA	<i>Failure Modes and Effects Analysis.</i> Análisis de Modos de Fallas y Efectos.
FMECA	<i>Failure Modes, Effects and Criticality Analysis.</i> Análisis de Modos de Fallo, Efectos y Criticidad.
FREPP	Factor de Riesgos Especiales Para el Proceso.
FRG	Factor de Riesgos Generales.
FTA	<i>Fault Tree Analysis (Ver AAF).</i>



GLP	Gas Licuado de Petróleo.
GNP	Producto Nacional Bruto.
HAZOP	<i>Hazard and Operability Studies.</i> Análisis de Riesgos y Operabilidad.
IDLH	<i>Immediately Dangerous for Life or Health.</i>
IFE	Índice de Fuego y Explosividad.
IFP	Instituto Francés del Petróleo.
IMP	Instituto Mexicano del Petróleo.
LOI	Límite de Operación Inferior.
LOS	Límite de Operación Superior.
LSI	Límite Seguro Inferior.
LSS	Límite Seguro Superior.
MON	Número de Octano en Motores.
NFPA	<i>National Fire Protection Association.</i>
Nf	Inflamabilidades.
Nr	Reactividades.
OP	Onda de Presión.
OSHA	<i>Occupational Safety and Health Administration.</i> Administración de la Salud y Seguridad Ocupacional.
PEMEX	Petróleos Mexicanos.
PLS	Switch de Baja Presión.
PM	Peso Molecular.
REVAMP	Revisión-Ampliación.
RON	Número de Octano Investigado.
RT	Radiación Térmica.
SCD	Sistema de Control Distribuido.
SCS	Sistema de Control Secuencial.
SIASPA	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental.
SP	<i>Set Point.</i>



STOP	Simulacros Operacionales y de Observación Continua para la Detección de Actos Inseguros.
T	Dispersión de sustancia tóxica.
TLV	<i>Threshold Limit Values.</i> Valores Límites Umbrales.
TNT	Tri-Nitro Tolueno.
TSH	Swich de Alta Temperatura.
TSP	Temperatura de Set Point
TW	Indicador Local de Temperatura.
UOP	<i>Universal Oil Products.</i>
UVCE	<i>Unconfined Vapor Cloud Explosion.</i> Explosión de Nubes de Vapor no Confinadas.
VAAR	Válvulas de Aislamiento por Activación Remota.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN





1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO^(1,2,3,4,24)

ANTECEDENTES

Seguridad Industrial

Los incendios, las explosiones y la liberación de gases tóxicos pueden causar la muerte o lesiones a trabajadores y otros ciudadanos, provocar la evacuación de comunidades enteras y afectar desfavorablemente al medio ambiente en general. Desastres que se conocen con nombres propios como, San Juan Ixhuatepec, México (noviembre 19 de 1984); Bhopal, India (diciembre 2 de 1984), etc. dieron origen a reclamos por parte de la sociedad para tener una mayor seguridad en las industrias, por ser éstas de alto riesgo.

En el **Apéndice A**, se presentan los accidentes catastróficos más importantes en el ámbito mundial ocurridos en la Industria Química, Petroquímica y Nuclear, dando sólo una idea de las consecuencias que puede ocasionar el no prevenir riesgos y la necesidad de crear, en todo proceso químico, una metodología que pueda disminuir o, en el mejor de los casos, erradicar por completo los riesgos.

Existen varias industrias de proceso que por su naturaleza manejan grandes inventarios de sustancias inflamables, explosivas y/o tóxicas, o bien, presentan condiciones de operación extremas (temperatura y presiones muy altas o muy bajas). Estas industrias se consideran altamente peligrosas ya que potencialmente pueden ocurrir incendios, explosiones o dispersión de sustancias químicas tóxicas capaces de causar daños a los trabajadores, a la comunidad, al medio ambiente y a las mismas instalaciones.

Entre las industrias más peligrosas están:

- Fábricas de productos petroquímicos y refinación.
- Fábricas de productos químicos y plantas de producción de los mismos.
- Almacenamiento y terminación de gas licuado de petróleo (GLP).
- Almacenes y centros de distribución de productos químicos.
- Grandes almacenes de fertilizantes.
- Fábricas de explosivos.
- Fábricas en que se utiliza cloro en grandes cantidades.



La prevención y la lucha contra los riesgos mayores han pasado a ser una cuestión apremiante en todas las partes del mundo, por lo que la seguridad en las plantas de procesos químicos se ha convertido en un asunto de gran importancia a medida que estas son más grandes, eficientes y complejas.

La industria de refinación del petróleo ha experimentado una expansión y cambio tremendo desde 1950, aumentos enormes del tamaño de las unidades de proceso, nuevos procesos catalíticos, demandas variables de productos y nuevas variedades de petróleo, han hecho de la tecnología y economía actual del petróleo una ciencia muy compleja, sofisticada y de muy alto riesgo, provocando que la industria química de refinación y petroquímica de todo el mundo, implemente políticas más adecuadas en el corto plazo para disminuir los riesgos, mediante el desarrollo de nuevos productos, tecnologías y procesos y/o mediante la prevención y control de riesgos, usando técnicas más especializadas de identificación, evaluación de riesgos, mejora de los sistemas administrativos y de ingeniería.

A continuación se dará una reseña de la Refinería en la cual se realizó este trabajo, así como el proceso de refinación que ésta cumple.

Localización

La Refinería "Miguel Hidalgo" se encuentra localizada en el municipio de Tula de Allende en el estado de Hidalgo, a sólo 82 Km. al norte de la Ciudad de México.

La justificación técnica para la instalación de esta refinería, que ocupa un área total de 749 hectáreas se sustenta en la excelente ubicación geográfica que la sitúa en una locación estratégica, debido a que se encuentra en un punto intermedio entre los principales productores de aceite crudo y el mayor consumidor de combustibles, lo que permite la distribución eficiente de los productos (inclusive los que no se producen en la refinería, por ejemplo gas licuado de Minatitlán, Ver.); además de lo anterior, la refinería se encuentra localizada en un municipio cuyos servicios son independientes a los del Distrito Federal.

Tula procesa el 24.4% de crudo total que se refina en México. La zona de influencia de la refinería resulta particularmente importante, ya que provee al Valle de México y zonas aledañas.



Antecedentes

La Refinería Miguel Hidalgo nace con tecnología de punta. Fue la primera planeada de forma integral con plantas de proceso de hidrocarburos de alta capacidad. Como parte de esta planeación integral se construyó la refinería en varias etapas.

La primera etapa se inauguró el 18 de marzo de 1976 con la puesta en operación de la planta combinada con una capacidad nominal de 150,000 BPD (actual de 160,000 bpd). En noviembre del mismo año se puso en funcionamiento la planta de desintegración catalítica No. 1, para obtener compuestos de mayor valor en el mercado a partir de los gasóleos de vacío.

En julio de 1977 arrancan las plantas hidrodesulfuradoras No. 1 con una unidad de hidrodesulfuración de naftas y dos unidades hidrodesulfuradoras de destilados intermedios y para octubre inicia operaciones la planta reductora de viscosidad con una capacidad nominal de 41,000 BPD, dos trenes de recuperación de azufre, un área de fuerza y servicios auxiliares con dos turbogeneradores de 25 megawatts-hora por día, un sector de bombeo y almacenamiento con una capacidad total de almacenamiento de 5,935,000 barriles y acorde con las políticas de protección al medio ambiente de nuestra empresa, se pone en marcha un sector de tratamiento de efluentes.

En noviembre de 1987 inició la segunda etapa con la operación de las plantas de destilación atmosférica No. 2 y vacío No. 2; además, se amplía el sector de bombeo y almacenamiento en más del 52% alcanzando una capacidad máxima de 12'475,000 barriles. También se amplía la capacidad del sector de servicios auxiliares hasta 1,000 ton/d de generación de vapor y 82 megawatts/h por día de energía eléctrica.

En agosto de 1993 se instalaron las plantas hidrodesulfuradoras 2 contando con una unidad de hidrodesulfuración de naftas y dos trenes de recuperación de azufre.

Inicia en 1994, operaciones la planta de desintegración catalítica No. 2 para que, por medio de calor y de un catalizador, se desintegren los gasóleos de vacío en compuestos de menor peso molecular.

En 1996 se incorporan, como parte del paquete ecológico, las plantas de metil terbutil éter (MTBE), teramil metil éter (TAME), la planta de alquilación, de isomeración de pentanos y hexano,



la H-OIL y la de diesel profundo (HDD) que contribuyen a obtener una gasolina de alta calidad. Con objeto de satisfacer la demanda de asfalto AC-20 que tiene la secretaría de comunicaciones, se inauguró la planta de mezclado y llenado de asfaltos.

Es así como la refinería de Tula ha logrado convertirse en la más importante del país por su capacidad instalada y la porción del mercado que controla. Aunado a lo anterior, el área de influencia abarca la zona metropolitana y los estados de: México, Hidalgo, Morelos y parte de Guanajuato requiere de energéticos elaborados con la más alta calidad, debido a las estrictas especificaciones ecológicas.

Proceso de Refinación

El crudo que se procesa en la refinería es una mezcla de crudo istmo (70%) y maya (30%) mezcla que se obtiene de petróleo proveniente del sur y sureste mexicano, incluyendo la sonda de Campeche.

El crudo del sistema de suministro es bombeado de Nuevo Teapa, Tabasco hasta Venta de Carpio estado de México de donde es rebombeado a la refinería. Se cuenta con una ruta alterna de suministro de crudo desde Nuevo Teapa hasta Poza Rica, Veracruz y de ahí, a la refinería.

A través del poliducto Minatitlán-Tula-Guadalajara la refinería recibe 50,000 bpd de gas LP para su distribución en la zona de influencia para consumo interno; para algunos procesos de refinación se requiere una mezcla de gas LP con gas seco, mismo que se obtiene en los diferentes procesos de refinación.

La refinería de Tula cuenta actualmente con una capacidad de refinación de 325,000 bpd. El área productiva está integrada por 10 sectores de proceso que incluyen plantas de proceso, plantas ecológicas, sistemas de bombeo y almacenamiento de productos y un sector de servicios auxiliares.

El petróleo crudo se alimenta a dos plantas primarias en donde es fraccionado mediante destilación a presión atmosférica y a vacío; de ahí se obtienen productos destilados amargos tales como; gasolina (nafta ligera), turbosina (nafta pesada), kerosina, diesel (gasóleo ligero primario), gasóleo pesado primario, gasóleos ligero y pesado de vacío y residuo de vacío.



El residuo de vacío es a continuación procesado en la planta reductora de viscosidad, logrando un ahorro sustancial al disminuir la cantidad de diluentes, adicionalmente se obtiene gas y gasolina amargos.

La gasolina obtenida en el proceso de destilación primaria, contiene una cantidad considerable de hidrocarburos ligeros; estos son separados y recuperados en dos plantas estabilizadoras de gasolina, evitando pérdidas de evaporación de hidrocarburos y contribuyendo a mantener el entorno ecológico.

Los productos obtenidos en estas plantas son: gasolina estabilizadora, gas licuado y gas combustible.

El siguiente proceso a las gasolinas se hace en las plantas hidrodesulfuradoras de gasolina. El proceso de hidrodesulfuración consiste en la eliminación de contaminantes tales como azufre, oxígeno, nitrógeno y metales mediante una hidrogenación catalítica.

Adicionalmente se cuenta con las plantas hidrodesulfuradoras de destilados intermedios. En estas se alimentan; turbosina, kerosina, diesel, gasóleo pesado primario, aceite cíclico ligero y gasóleos ligero y pesado de vacío. Se obtiene además de los productos desulfurados, gas ácido, gas licuado amargo y gasolinas pesadas.

La gasolina desulfurada se procesa en dos **plantas reformadoras de naftas**, que tiene una capacidad de 30,000 y 35,000 bpd respectivamente. El objetivo de este proceso es incrementar el índice de octano de la gasolina de 54 a 96. La gasolina reformada es base para la formulación de gasolina PEMEX magna.

En estas plantas se obtiene también el hidrógeno necesario para los procesos de hidrodesulfuración de gasolina y de destilados intermedios obteniendo, además, gas combustible y gas licuado.

Adicionalmente en ambas plantas se han instalado las **Unidades de Regeneración Continua de Catalizador (CCR'S)**, las que permiten corridas de 2 años de operación continua.

La mezcla de los gasóleos pesado primario, ligero de vacío y pesado de vacío, que son



obtenidos en los procesos de destilación atmosférica y a vacío, es enviada como carga a las plantas de desintegración catalítica de lecho fluidizado.

Los productos que aquí se obtienen son: gasolina catalítica con índices de octano 92 RON y MON (base para PEMEX magna), propano, propileno enviado a la planta petroquímica de acrilonitrilo), butano, butileno, gas ácido, aceite cíclico ligero y aceite decantado.

El butano-butileno obtenido en las plantas catalíticas es enviado a la planta de metil terbutil éter (MTBE) y la gasolina catalítica se envía a la planta de teramil metil éter (TAME). Ambas plantas MTBE y TAME contribuyen al mejoramiento de la calidad de las gasolinas, reduciendo el contenido de aromáticos.

La refinería suministra la totalidad de la turbosina empleada en el aeropuerto internacional de la ciudad de México y está orgullosamente certificada con la norma ISO-9002 por el instituto mexicano de normalización y certificación A.C:

La refinería "Miguel Hidalgo" tiene hoy una capacidad nominal de proceso de 325,000 barriles diarios de aceite crudo, siendo su función principal refinar el petróleo crudo para obtener productos comercializables, destacando:

PRODUCTOS

Combustibles:	Subproductos:	Especialidades:
Gas Licuado	Hidrógeno	Gas Nafta
PEMEX Magna Oxigenada	Gas combustible	Hexano
PEMEX Magna	Propileno	Aceite decantado
PEMEX Nova	Propano	
Gasolina incolora	Butano-butileno	
Turbosina	Isobutano	
Diáfano	Isopentano	
PEMEX Diesel	Gasóleo industrial	
Combustóleo ecológico azufre		



Refinación y su gente

Para la operación eficiente de la refinería se cuenta con las siguientes unidades y superintendencias de apoyo:

Unidad de producción. Esta unidad es responsable del cumplimiento de los programas de producción.

Unidad de evaluación y programación. Esta unidad se encarga de los planes y programas de inversión, operación, mantenimiento y administración; además sus colaboradores realizan la evaluación de todas las áreas de la refinería.

Unidad de recursos humanos. Esta área es la responsable de la selección, reclutamiento y contratación de la mano de obra calificada requerida para la operación y servicios de apoyo. Una función muy importante que está coordinada por los empleados de recursos humanos es la capacitación constante de todo el personal.

Unidad de finanzas. Con un equipo de profesionistas, esta unidad maneja todos los aspectos contables de la refinería.

Superintendencia de química. El personal realiza el control de calidad de materias primas, de sustancias químicas, de productos intermedios y terminados en los laboratorios de gases, control, analítico y experimental.

Superintendencia de recursos materiales. El almacenamiento, manejo y suministro de todas las refacciones, los reactivos y los materiales es llevado a cabo por los trabajadores especializados.

Superintendencia general de mantenimiento. La conservación de todas las instalaciones mediante la aplicación de mantenimiento predictivo, preventivo y correctivo es llevada a cabo por los trabajadores de esta sección y para ello cuenta con los talleres: civil, eléctrico, tubería, pailería, de instrumentos y mecánico.

Superintendencia general de proyectos. Ejecuta los proyectos de inversión y mantenimiento capitalizable, apoyando el crecimiento y modernización de la refinería.



Superintendencia de inspección técnica y seguridad industrial. Es vital la prevención y protección en este tipo de instalaciones, y es este departamento el que se encarga de implementar y vigilar las técnicas productivas para desempeñar labores con el menor número de accidentes; además de controlar un eficiente equipo de contra incendio.

Seguridad industrial

Una industria que maneja productos altamente inflamables a muy diversas condiciones de presión y temperatura, requiere técnicas y sistemas que le permitan desarrollar su actividad productiva con seguridad. Sabiendo esto, en la refinería "Miguel Hidalgo" se cuida que el personal, a todos los niveles, cuente con los conocimientos para que opere segura y confiablemente el equipo que está a su cargo.

Se tienen implementados programas de seguridad (S.T.O.P.), simulacros operacionales y de observación continua para la detección de actos inseguros; además, se lleva a cabo una minuciosa inspección técnica con la finalidad de obtener indicadores de nivel de seguridad con los que operan los equipos, los tanques de almacenamiento y las tuberías.

Todos los trabajadores de la refinería son capacitados en la prevención y combate de siniestros en la escuela regional de operaciones contraincendio, logrando un excepcional sistema de contraincendio, que se sustenta en tres elementos:

Sistema de contraincendio fijo. Este sistema cuenta con una casa generadora de espuma que protege a las tanques que almacenan crudo, nueve bombas centrifugadas de 2,500 gal/min, así como una red perimetral de distribución de agua contra incendio de 30 pulgadas de diámetro, y un sistema de hidrantes, monitores e instalaciones de aspersores.

Equipo manual de contraincendio. Hay extinguidores de diferente capacidad distribuidos estratégicamente.

Central contraincendio. Una guardia permanente de bomberos y cinco unidades contraincendio con un sistema generador de espuma.

La refinería cuenta con un grupo de rescate integrado con personal calificado en primeros



auxilios y maniobras de salvamento para cualquier contingencia dentro y fuera de las instalaciones.

Cada refinería posee su propio y único esquema, el cual esta determinado por el equipo disponible, costos de operación y demanda del producto. El modelo óptimo de flujo para una refinería viene dictaminado económicamente, y no hay dos refinерías que sean idénticas en sus operaciones. **Ver Apéndice G.**

SUSTANCIAS INFLAMABLES, EXPLOSIVAS Y TÓXICAS IMPLICADAS

Los materiales que representan el mayor riesgo en las plantas de proceso de refinación generalmente se seleccionan en función del grado de inflamabilidad, explosividad y/o toxicidad, combinado con la cantidad de material empleado.

Se muestra a continuación características de sustancias inflamables utilizadas en la industria petrolera:

1. Gases inflamables de baja densidad

A menos que estos estén a temperaturas bajo cero, se dispersan rápidamente y su contribución a los riesgos de fuego y explosión es menor que el de los gases con densidad igual a la del aire. Como es el caso del hidrógeno, metano y amoniaco.

2. Gases licuados inflamables

Un gas licuado inflamable se define como un material inflamable con una temperatura crítica de -10°C y un punto normal de ebullición menor de 30°C .

3. Líquidos criogénicos inflamables

El material criogénico inflamable se define como un líquido que se almacena a/o cerca de la presión atmosférica y a temperatura de -73°C o menos. Como es el caso del hidrógeno líquido.

4. Sensibilidad a la ignición

Se refiere a la sensibilidad a la ignición en general del material clave con aire como oxidante.

Para la instalación de equipo eléctrico e instrumentación, los materiales inflamables se agrupan



en un número de clases o grupos de acuerdo con los requerimientos de niveles de seguridad apropiados en el diseño, es recomendable separar los materiales en un número amplio de categorías para mostrar las diferencias en nivel de riesgo significativos para un estudio de riesgos, pero que introducirían pequeños cambios innecesarios en situaciones de diseño eléctrico.

- Sustancias explosivas

Tienen la capacidad de reaccionar violentamente de forma exotérmica con emisión de gases y formación de onda expansiva. El poder explosivo se mide por kilotones, unidad correspondiente a la que posee una tonelada de trinitrotolueno (TNT).

La explosión libera energía de manera súbita y violenta. Las causas pueden ser variadas, pero generalmente las explosiones se clasifican de acuerdo al tipo de energía que las origina.

Como pueden ser:

a) Liberación de energía de presión. La energía de un gas comprimido se libera súbitamente, en general a causa de una falla mecánica seguido del colapso del recipiente de contención. Es lo que ocurre, por ejemplo, en la ruptura catastrófica de un cilindro de gas a presión. También entrarían en ésta categoría, la despresurización súbita de un gas licuado almacenado bajo presión a temperatura superior a la de ebullición normal (lo que ocasionaría la rápida evaporación del mismo acompañado de aumento de presión al aumentar el número de moles en fase gas) o las explosiones debido al aumento de presión en el interior de un recipiente por calentamiento (incendio) externo.

b) Liberación de energía química. Son causadas por reacciones químicas que da lugar a una elevación de la temperatura y/o a un aumento en el número de moles en fase gas. La energía liberada en una explosión química depende de la naturaleza y estado físico de los reactantes y productos.

Como en el caso de la inflamación de una mezcla combustible, la velocidad a la que se produce la liberación de la energía potencial química en la combustión de los materiales es la principal diferencia entre incendio y explosiones.



Al igual que ocurre con los incendios, las explosiones pueden impedirse trabajando fuera del intervalo de inflamabilidad, disminuyendo la concentración de comburente hasta el valor correspondiente o evitando fuentes de ignición.

La aplicación de criterios de seguridad intrínseca desde las etapas iniciales de diseño puede permitir que los equipos no estén sometidos al riesgo de explosión, o que sean capaces de resistir explosiones sin sufrir daños y sin propagar sus efectos.

Alternativamente puede añadirse seguridad extrínseca con equipos capaces de suprimir las explosiones en una etapa temprana de su desarrollo, con sistemas de alivio, etc.

Se muestran a continuación las características de sustancias explosivas utilizadas en la industria petrolera:

1. Reacciones difíciles de controlar

Cuando se llevan a cabo reacciones de naturaleza exotérmica o en casos en los que se puede evitar una reacción lateral de naturaleza exotérmica, hay una gran posibilidad de que la reacción quede peligrosamente fuera de control. Ejemplo: nitraciones, algunas polimerizaciones y reacciones Friedel-Crafts, isomerización, sulfonación, alquilación.

2. Riesgo de explosión por polvo o neblina

Para procesos donde los materiales se manejen de tal manera que los riesgos de explosión por polvo o neblina dentro o fuera del equipo puedan producirse únicamente por ruptura o mal funcionamiento del equipo, como es el caso del aceite hidráulico de alta presión.

Si el proceso o la operación usan líquidos a una temperatura que sea susceptible de ignición o explosión de tal manera que puede haber formación de neblina adentro del equipo. Ejemplo, el bombeo de aceites hidráulicos calientes, aceites minerales y aceites fluidizantes.

- **Materiales tóxicos**

Los riesgos para la salud pueden variar tanto en el grado como en las formas en que se



presentan. Algunas son identificables en condiciones anormales de proceso, tales como mantenimiento o procesos fuera de control o en fuego, mientras que otras están presentes continuamente como resultado de pequeñas fugas en juntas, empaques, venteos de gases de proceso, etc. Como es el caso del nitrógeno, metano, dióxido de carbono, etc.

Existe una dificultad considerable en realizar estimaciones precisas de los efectos que una determinada sustancia tóxica puede tener sobre organismos vivos.

La ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) publica periódicamente los valores límites umbral, TLV (threshold limit values), para una serie de sustancias, basándose en datos experimentales con animales de laboratorio, así como en la experiencia industrial. Estos se basan en 7 u 8 horas de trabajo por día y 40 horas de trabajo por semana, la mayoría de los valores listados de TLV pueden ser excedidos por ciertos factores para corta duración. Considerando que pueden balancearse por periodos de concentraciones inferiores a los valores de TLV de manera que el valor promedio en tiempo no exceda del valor de TLV.

Los riesgos continuamente presentes debido a fugas causadas por el mantenimiento normal u operacional de procesos, deben asignarse con referencia a los valores TLV medidos en tiempo.

Sin embargo, grandes fugas por escapes anormales, fallas en los sistemas de control de las plantas, condiciones de fuego, etc., pueden determinarse con referencia a valores de concentración más altos por un corto periodo.

Ver Apéndice B.

CONDICIONES DE OPERACIÓN EXTREMAS EN LOS PROCESOS DE REFINACIÓN DEL PETRÓLEO

Las variables de condiciones extremas más utilizadas en la industria petrolera son:

- **Baja presión**

Cuando los procesos operan a presión atmosférica o al vacío (condiciones subatmosféricas), el aire o contaminantes pueden entrar al sistema de proceso.



Si el aire o los contaminantes que entran al sistema reaccionan con materiales allí presentes, pueden producir una condición riesgosa, como el caso del manejo de diolefinas (dioxano) donde hay el peligro de formación de peróxido y polimerización catalítica subsiguiente.

Los procesos que operan a presión atmosférica (definida como ± 0.5 psig) o al vacío (hasta un diferencial de 600 mmHg) con materiales inflamables, presentan un gran peligro por el riesgo de explosión originado por la entrada de aire al sistema, ejemplo, sistemas colectores de hidrógeno, destilación a vacío parcial de líquidos inflamables; los procesos que operan a más alto vacío (diferencial superior a 600 mmHg) con materiales inflamables, presentan un riesgo menor.

- **Alta presión**

Donde se opera una unidad de planta a una presión más alta que la atmosférica se esta expuesto a una mayor intensidad de riesgos de fuego y de explosión interna. Los riesgos de fuego se aumentan si se aumenta la presión de la sección y por lo tanto el riesgo de una explosión interna que sobrepresionará alguna parte de la unidad.

- **Baja temperatura**

El propósito de este análisis es tomar en cuenta la posible fragilización de unidades de acero al carbón al ser operadas a una temperatura igual o menor a la de transición. Sin embargo, si las pruebas muestran que el acero al carbón se encuentra sobre su temperatura de transición, el riesgo es menor.

Ejemplos de condiciones de operación de baja temperatura es cuando se usa acero al carbón normal para la construcción de equipos de las plantas de proceso y las temperaturas normales de operación oscilan entre 10°C y -10°C . Donde se usa acero al carbón a temperaturas normales de operación debajo de -25°C .

- **Alta temperatura**

La operación a alta temperatura presenta un efecto doble: primero aumentan los riesgos inherentes al manejo de materiales inflamables y segundo, la resistencia del equipo de planta se puede ver afectado negativamente.



Los efectos de la alta temperatura en los riegos del material dominante presente son mayores cuando el material es un líquido inflamable, pero también son significantes con gases y vapores inflamables.

Los eventos que pueden generar riesgos por las altas temperaturas son:

1. Cuando un líquido o sólido inflamable este arriba de su punto de inflamabilidad (flash point) de copa cerrada o abierta.
2. Si el material dominante esta en fase líquida a una temperatura arriba de su punto de ebullición a 760 mmHg, esto mismo se aplica al caso de gases licuados inflamables presentes en la sección como un líquido.
3. Si el material es un sólido a temperatura normal, pero se presenta en la unidad en fase líquida. Si el material (ya sea su estado normal gas, líquido o sólido) se maneja arriba de su temperatura normal de auto ignición.
4. Si la temperatura es tal que el material (metales, plásticos, plomo, etc.) usados para construir los equipos de la planta se opera bajo condiciones de esfuerzo longitudinal o progresivo.
5. Si la temperatura de operación esta en el rango donde la resistencia permisible del material de construcción se reduce en un 25% o más por un aumento en la temperatura de 50°C.

- **Altos efectos de corrosión/erosión**

Bajo estas condiciones se consideran los riesgos debido a altos efectos de corrosión/erosión, tanto interna como externa ya que estos pueden ser muy amplios.

Un ejemplo de esto sería, pensar en la reparación de un oleoducto de crudo, resultante de problemas de corrosión interna o externa.

El costo social de la corrosión puede llegar a ser tan elevado que debería prestársele una mayor atención por el lado de las autoridades, empezando por la propia toma de conciencia personal.

- **Riesgos de juntas y empaques**

Una unidad de proceso puede contener partes donde el sellado de juntas o flechas se



efectúe. Estas partes pueden causar problemas, particularmente donde se tienen ciclos de temperaturas y de presión.

- **Riesgos de vibración y de fatiga por carga cíclica**

Algunos tipos de operaciones tales como unidades de compresión, introducen vibraciones en equipos asociados y tuberías. Efectos similares en un periodo más largo de tiempo se pueden producir en un equipo donde las condiciones de temperatura y presión varían cíclicamente dentro de un rango razonable. Ambas situaciones introducen riesgos de fatiga en equipo que intensifican el riesgo de la sección.

Los costos generados por los accidentes de la industria química, son difíciles de cuantificar en términos económicos. Durante el año de 1984, en tan solo 5 accidentes en la industria petrolera, se tuvieron pérdidas directas estimadas en 268 millones de dólares. Cada año suceden cientos de accidentes menores en todo el mundo, a menudo sin que sean conocidos por la opinión pública, pero al costo total directo del accidente, es necesario añadirle el costo debido a la suspensión de la producción, y por pérdidas de materias primas y/o productos terminados, además de los problemas legales y las indemnizaciones por causa de daños a personas o a la propiedad, así como a las primas de las compañías reaseguradoras.

Un costo adicional y que es muy importante, es la pérdida de una buena imagen hacia la sociedad y a la mala publicidad que sufra la empresa involucrada en el accidente.

Estudiando los sucesos catastróficos o desastres ocurridos en los procesos químicos, es verdaderamente difícil encontrar un sistema de análisis formal de seguridad, aplicado antes del incidente, que de la probabilidad de ocurrencia del suceso.

A través de los años se han utilizado muchos índices para medir la seguridad, además de una gran variedad de indicadores para medir los incendios y otras pérdidas de propiedad. La mayoría de las técnicas de medición en el pasado han tenido una cosa en común: Han sido "reactivas" y orientadas hacia las consecuencias de la administración de un programa en lugar de ser "proactivas" (antes de la pérdida). En otras palabras, es mejor "medir lo que se hace para prevenir, en lugar de medir lo que ya ocurrió".



Todas estas mediciones continuarán sirviendo en el futuro, sin embargo, los expertos en seguridad industrial reconocen que son muy inadecuadas. Existe claramente una necesidad de indicadores adicionales que sean predictivos, esto es, que permitan a los directivos identificar deficiencias específicas que puedan ser corregidas o controladas antes de que los accidentes o pérdidas ocurran.

El Análisis de Riesgos tiene como objetivos:

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

Petróleos mexicanos buscando ser una de las empresas líderes en materia de seguridad y de protección ambiental, está implantando dentro de sus instalaciones el **Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA)** que es una herramienta para asegurar el cumplimiento de las políticas de seguridad, de protección al ambiente y normas internacionales.

Entre las bases de diseño del SIASPA están las siguientes:

- Apoyo a la política y estrategia sobre Seguridad y Protección Ambiental de Petróleos Mexicanos.
- Un sistema corporativo adecuado para todas las instalaciones de Petróleos Mexicanos.
- Basarse en un proceso de auto evaluación a nivel instalación.
- Incluir un proceso de mejora continua.
- Ayudar a desarrollar, impulsar y consolidar una cultura de seguridad y protección ambiental en Petróleos Mexicanos, orientada a la prevención.
- Consistente con normas internacionales y las mejores prácticas demostradas.



Por lo anterior, el SIASPA se puede definir como: "La herramienta administrativa enfocada al diagnóstico, evaluación, implantación y mejora continua del desempeño en los campos de la seguridad y de la protección ambiental, y a la creación de una cultura de seguridad basada en la prevención, todo esto dentro de las instalaciones de Petróleos Mexicanos, organismos subsidiarios y empresas filiales".

El SIASPA está integrado por tres componentes, y a su vez por 18 elementos, que está comprobado afectan la seguridad y la protección ambiental.

Factor Humano

- I. Política, liderazgo y compromiso.
- II. Organización.
- III. Capacitación.
- IV. Salud ocupacional.
- V. Análisis y difusión de incidentes y buenas prácticas.
- VI. Control de contratistas.
- VII. Relaciones públicas y con las comunidades.

Métodos

- VIII. Planeación y presupuesto.
- IX. Normatividad (reglamentación, normas y procedimientos).
- X. Administración de la información.
- XI. Tecnología del proceso.
- XII. Análisis de Riesgos.
- XIII. Administración del cambio.
- XIV. Indicadores de desempeño.
- XV. Auditorías.

Instalaciones

- XVI. Planes y respuesta a emergencias.
- XVII. Integridad mecánica.
- XVIII. Control y restauración.



El presente trabajo de Tesis, es parte de un Análisis de Riesgos que se realizó a la Unidad de Regeneración Continua de Catalizador a una planta Reformadora de Naftas (Hidros II), donde se seleccionaron y revisaron diferentes circuitos de flujo por medio de la realización de un estudio HazOp, el cual es una herramienta para identificar los posibles riesgos, producidos por desviaciones del diseño de la planta. Mediante la selección de un escenario hipotético de un accidente en la planta, se estructuró un árbol de fallas, que proporciona información de cuáles son las posibles causas y de la probabilidad de que el suceso ocurra; por último, se realiza un análisis de las consecuencias si el escenario se suscita.

En éste Análisis de Riesgos se utilizaron tres técnicas:

1. Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).
2. Análisis de Árbol de Fallas.
3. Análisis de Consecuencias.

Con estas tres técnicas se pretende ubicar posibles escenarios potenciales de riesgo, las causas que los pudieron originar y su posible mitigación, para la óptima operación de la planta.

1.2 OBJETIVOS

- Identificar y evaluar los riesgos, aplicando las técnicas HazOp en las modificaciones realizadas en líneas y equipos de la CCR, así como el análisis de árbol de fallas y análisis de consecuencias.
- Identificar mediante la técnica HazOp, los posibles escenarios potenciales de riesgo en la operación de la unidad antes mencionada, además se elaborará el análisis de árbol de fallas a algún evento crítico identificado en la unidad, así como el análisis de consecuencias de ese evento si éste se suscitara.
- Obtener una lista de recomendaciones, como resultado del análisis de riesgos, que al ser implementadas conforme a su prioridad, mejore la operación de la planta, la seguridad de la misma e igualmente la de las personas que laboran en ella.



1.3 ETAPAS DEL PROYECTO

Recopilación de la información relevante

En esta etapa se reunió la información necesaria para llevar a cabo el estudio. Se recopilaron y actualizaron Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI'S), planos de localización de equipos (Plot Plan), Diagramas de Flujo de Proceso (DFP'S), manuales de operación, historias de accidentes, etc. Si no contáramos con todos estos datos no se podría realizar el estudio.

Realización de Análisis de Riesgos y Operabilidad (Estudio HazOp)

Aquí se constituyó el equipo multidisciplinario que se encargaría de realizar el análisis HazOp, el cual quedó conformado por personal de diversos departamentos de la planta, así como por especialistas de la UNAM, que fueron quienes dirigieron el estudio. También fueron seleccionados los circuitos que se requerían estudiar utilizando dicha técnica, los nodos y la selección de las posibles desviaciones que serían analizadas.

Elaboración de la Lista de Recomendaciones

Con las hojas de datos que fueron generadas por el estudio, se elaboró una lista de recomendaciones de acuerdo a la probabilidad y gravedad de los escenarios hipotéticos. Dicha lista presenta acciones preventivas y correctivas para que el evento indeseable no llegue a ocurrir.

Análisis de Resultados

Por último, se llevó a cabo el análisis de resultados del árbol de fallas de fuga de gas ácido en torre lavadora FA-205 y el análisis de consecuencias de la fuga de hidrógeno del GB-502.

En esta etapa se presentan una serie de recomendaciones como resultado del análisis HazOp, árbol de fallas y análisis de consecuencias. Estas fueron jerarquizadas de acuerdo a su nivel de importancia y un plan de trabajo, el cual se elaboró para darle seguimiento a las acciones necesarias para implementar dichas recomendaciones en los tiempos establecidos.



CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO



**MARCO TEÓRICO** (5,6,7,8,11,12,13,22,23)**2.1 CONCEPTOS BÁSICOS**

Peligro: Es la condición física ó química que puede causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad. El peligro es la exposición a un riesgo o dicho de otra manera es el potencial de daño.

Riesgo: Posibilidad de sufrir pérdidas. Éstas pueden ser económicas o daño a personas y está expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias.

Existe una diferencia clara entre riesgo y peligro aunque frecuentemente se habla de que hay un peligro elevado cuando en realidad se quiere decir que el nivel de riesgo es alto. Para decidir si un riesgo es o no aceptable, se requiere estimar su magnitud mediante un análisis de riesgos, es decir, se requiere hacer una estimación cuantitativa del nivel de peligro potencial que representa una actividad, tanto para las personas como para los bienes materiales, en términos de la magnitud del daño y la probabilidad de que tenga lugar.

Accidente: Suceso no planeado que pone en peligro la seguridad del ser humano (ya sean empleados y/o miembros de la sociedad), el medio ambiente, las utilidades y/o producción de la compañía. (En esta tesis se maneja accidente e incidente como uno mismo).

Incidente: 1. Implica cualquier acontecimiento con o sin daño a las personas, al ambiente o a la propiedad, en la que las circunstancias podrían haber sido más graves de mediar otras circunstancias. La investigación de los incidentes puede dar información valiosa para prevenir un accidente grave y evitar que este ocurra. 2. Suceso no planeado que pone en peligro la seguridad del ser humano (ya sean empleados y/o miembros de la sociedad), la ecología, las utilidades y/o producción de la compañía. 3. Liberación instantánea o continua de materia o energía.

Los incidentes se pueden prevenir por medio de:

- La determinación de las causas raíz.
- La identificación de acciones preventivas.
- La implementación de cambios que corrijan las causas raíz.



Todo lo que pasa dentro de una empresa se debe a los procedimientos, políticas, estructura y normas de la misma pero más allá de todo esto, existen otros agentes que no todos se percatan que existen pero que pudieran ser la base de todo o de gran parte, estos son: actitudes, sentimientos, expectativas, valores, necesidades y deseos. La parte positiva de la investigación de un incidente es la oportunidad de mejorar los sistemas administrativos y no la oportunidad de asignar culpa, encontrar culpables o chivos expiatorios.

2.2 INTERPRETACIÓN DEL RIESGO

Es muy importante interpretar adecuadamente lo que es un riesgo ya que para el estudio que se debe realizar, cada uno de los colaboradores en el trabajo tiene que usar y entender los mismos términos.

Esta etapa también es conocida como Administración de Riesgos en la cual se toman las decisiones para trabajar sobre los riesgos de mayor prioridad y realización de estrategias, basándose en los datos que fueron arrojados por el análisis.

2.2.1 Administración de riesgos

Conjunto de procesos que incluyen el análisis de los riesgos, la evaluación de su aceptabilidad, el establecimiento de medidas de prevención y control así como el seguimiento (auditoría) de los mismos.

2.2.2 Nivel de riesgo y toma de decisiones

En la actualidad, en el ámbito mundial ha crecido la preocupación por parte de la sociedad, así como por los gobiernos, en torno a los posibles riesgos de carácter industrial que han sido señalados anteriormente. La mayor parte de esta sociedad esta consciente de que cualquier actividad industrial que sirve para producir bienes y cubrir las necesidades de la gente, por beneficiosa que sea, generan ciertos riesgos.

Tomando como ejemplo a la industria Química y en particular a la industria petrolera, está claro que, por muchos que sean los cuidados, esta actividad implica un riesgo que no se puede eliminar, solo reducir.



Por lo tanto la industria es necesaria para la gente, la cuestión es decidir qué nivel de riesgo es aplicable en una instalación o proceso determinado, o más exactamente, en qué medida puede ser aceptado el riesgo en virtud de los posibles beneficios que se deriven de la aceptación de los mismos.

Por lo regular esta decisión tiene que ser tomada en base a factores que se den con frecuencia, como puede ser el hecho de:

- Que los riesgos no se conozcan con la suficiente precisión.
- Que los posibles afectados (dentro o fuera de la planta) no hayan asumido el riesgo voluntariamente.
- Que no se disponga de la suficiente información del riesgo que se asume.
- Que en otras ocasiones puede ocurrir que las alternativas a una situación en particular sean inciertas o poco prácticas, lo que evidentemente dificulta que se aplique alguna solución.

El proceso de decisión sobre el nivel de riesgo aceptable es complejo, porque los objetivos son múltiples y en ocasiones contradictorios. Es necesario tener en cuenta consideraciones humanitarias, económicas, de responsabilidad legal y de imagen pública. Así, un riesgo que puede ser catastrófico se considerará en general menos aceptable socialmente que un conjunto de riesgos de pequeña magnitud, incluso si el nivel de riesgo del evento catastrófico y los de pequeña magnitud fuese idéntico para las personas y para la propiedad.

Es claro que un cierto nivel de riesgo voluntario es asumido como parte de la manera de vivir por la mayoría de los ciudadanos, inclusive riesgos estadísticamente nada despreciables, como fumar o escalar montañas.

En cambio la tolerancia hacia los riesgos involuntarios es mínima, incluso si estos son mucho menores que los asumidos voluntariamente. En la misma línea se aceptan con cierta facilidad los riesgos sobre los que se pueden ejercer control (como la conducción de automóviles), pero se tiende a rechazar otros riesgos (la proximidad de centrales nucleares, accidentes de ferrocarril, contaminación industrial), sobre los cuales la persona pasiva no ejerce control sobre ellos.

También es claro de que los riesgos ocasionados por la naturaleza, como los debidos a los terremotos, tormentas eléctricas o inundaciones, se aceptan más fácilmente que los riesgos derivados por las actividades humanas, en virtud de no poder evitar los primeros.



2.2.3 Evaluación del riesgo

Es el proceso que utiliza los resultados del análisis de riesgo para tomar decisiones a través de la comparación de los criterios previamente establecidos en la tolerancia del riesgo.

2.2.4 Gerencia del riesgo

Es la formulación e implantación de medidas y procedimientos, técnicos y administrativos que tienen como finalidad prevenir, controlar o reducir los riesgos existentes en una instalación industrial, teniendo como objetivo, mantener esa instalación operando dentro de los requisitos de seguridad considerados tolerables. Ver **Tabla 2.1.**

RIESGO:	CARACTERÍSTICAS:
Ambiental	Efectos muy sutiles con miles de interacciones entre comunidades, poblaciones y ecosistemas a niveles micro y macro, que por la naturaleza de dichas interacciones, no se pueden predecir posibles efectos en cierto tiempo o a ciertas distancias de las fuentes que los generaron.
Bienestar Social	Conciernen a la opinión pública acerca del desempeño de la empresa y de sus productos. Se impacta directamente en el valor de las propiedades, así como en el uso de recursos que se hace cada vez más limitado. Se emplea a corto, mediano y largo plazo.
Financieros	Son aquellos que conciernen a los riesgos de propiedades, utilidades y producción. Se estudian a corto y largo plazo. Se emplean la viabilidad y operación financiera.
Salud	Se utilizan normas de estandarización para exposición a ciertas sustancias. Las relaciones causa-efecto son difíciles de establecer. Se estudia sobre todo a largo plazo.
Seguridad Industrial	Son los accidentes de graves consecuencias y efectos inmediatos graves. Aquí, los tiempos de respuesta de las medidas preventivas o correctivas son críticos y las relaciones causa-efecto son evidentes. Su estudio es a corto, mediano y largo plazo.

Tabla 2.1. Diferentes categorías para la evaluación de riesgos y sus respectivas características.



Un riesgo puede ser aceptado con el nivel que tiene, o reducirlo si no puede ser eliminado. La decisión implica estimar la magnitud de las consecuencias que pueden derivarse de un accidente y de la probabilidad del mismo, así como el costo de las medidas correctivas.

2.2.5 Preparación previa al Análisis de Riesgos

Antes de realizar cualquier análisis, se deben considerar varios aspectos. Así pues, las personas involucradas para tal, deben estar conscientes de que para lograr mejores resultados, tiene uno que estar consciente de la importancia del estudio.

Para los fines que se buscan en esta tesis se ha conformado un glosario de términos utilizados en las técnicas de Análisis de Riesgos, **Ver Apéndice C.**

2.3 ANÁLISIS DE RIESGOS

El Análisis de Riesgos es de mucha utilidad porque permite identificar las causas de un accidente y los mecanismos de su desarrollo, así como también, evaluar las consecuencias, justificando las decisiones que se toman para la implementación de medidas correctivas que reduzcan la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la magnitud de los efectos que conllevaría en caso de que se llegara a culminar en un cierto lapso de tiempo. En la **Figura 2.1**, se muestra la utilidad de un análisis de riesgos:

En la Evaluación y Administración de Riesgos, cuando se hace el estudio de un evento se realizan preguntas del tipo: ¿Qué puede fallar y por qué?, ¿Cuál es la probabilidad de que esto suceda?, ¿Cuáles serían los alcances negativos del evento, en caso de que se llegara a culminar?, ¿Se puede eliminar o reducir el riesgo?, ¿Cómo podemos reducirlo o eliminarlo?, etc.

Por lo tanto, de aquí se desprende que los riesgos sean función de la población afectada (directa e indirectamente), la probabilidad de la ocurrencia y de la magnitud de las consecuencias (ambientales, sociales, económicas, etc.).

De los análisis de riesgos se plantean medidas de salvaguarda las cuales permiten disminuir el nivel de riesgo hasta uno más aceptable.

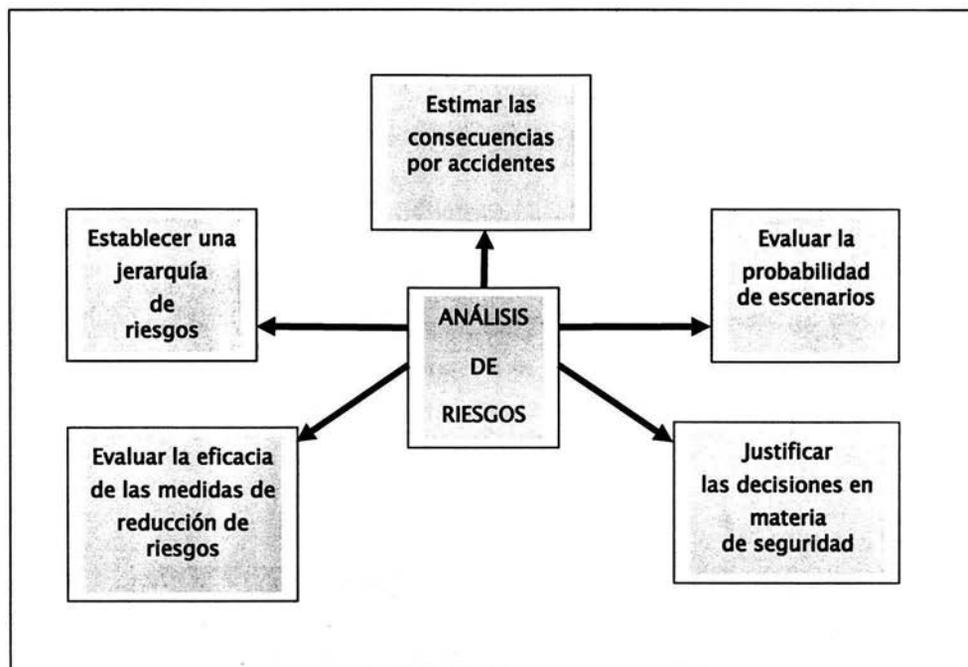


Figura 2.1 Utilidad de un Análisis de Riesgos

2.3.1 METAS, ALCANCES Y LIMITACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

Cuando se realiza un Análisis de Riesgos, se busca alcanzar:

1. Un mayor entendimiento del riesgo. Esto se alcanza aumentando y mejorando el conocimiento de éste.
2. Optimizar el uso de recursos de forma sistematizada, identificando los riesgos que sean más críticos por los alcances que conllevan.

Entre algunas de las **ventajas** que tienen los Análisis de Riesgos se encuentran:

- Jerarquizar los posibles riesgos de un proceso así, se puede tener una perspectiva más amplia de los problemas que, a mediano y largo plazo, se puedan presentar, y de esta forma se pueden canalizar recursos para prevenirlos, eliminarlos, remediarlos o controlarlos de ser necesario.



- Esta evaluación de los recursos puede realizarse desde las primeras etapas del proyecto (diseño y construcción) de una forma eficiente.
- Una vez en marcha la operación del proceso, se puede realizar de forma periódica, durante la operación, el paro (temporal o definitivo) y la desmantelación.
- Al complementarse con otras herramientas y programas de seguridad, se pueden visualizar e inspeccionar posibles deficiencias del proceso, antes de que sea construido u operado.

Y sus **deficiencias** serían:

- No existe un número suficiente de expertos en el tema.
- El analista nunca puede asegurar que han sido identificadas todas las situaciones de peligro, ni todas las posibles causas que les dieron origen.
- Es un método no reproducible debido a la naturaleza subjetiva de la técnica y las diferentes experiencias de los analistas.

2.3.2 ETAPAS DEL ANÁLISIS DE RIESGOS

El sistema de Análisis de Riesgos tiene etapas que cuentan con la ventaja de ser adaptadas según las necesidades que aparezcan. Ver **Figura 2.2**.



Figura 2.2 Etapas del Análisis de Riesgos



Todo inicia con la pregunta: ¿qué puede salir mal?, la cual da una visión de todas aquellas actividades o acontecimientos que puedan generar (de llevarse a cabo) efectos no deseables en las personas, el ambiente o las instalaciones. La pregunta, aunque es de carácter cualitativo, da origen a la identificación de los riesgos. Esta etapa debe de ser exhaustiva y precisa, ya que no se puede dejar de lado ningún evento que sea significativo y con posibilidades razonables de suceder. Para esto, la experiencia de las personas que intervengan en el análisis es de gran valor.

Después de lo anterior, el siguiente paso es contestar las preguntas: "de suceder esto, ¿qué consecuencias tendrá?, ¿qué alcances se manifestarán?". Aquí es necesario contar con modelos que puedan estimar los efectos que se originen por las causas detectadas. Para seleccionar el modelo se tienen que tomar en cuenta las consecuencias de cada evento y usar el más adecuado.

La tercera pregunta que se debe realizar: "¿qué posibilidades tiene de suceder?, ¿con qué frecuencia sucede, o ha sucedido este evento?". Esta etapa es más cuantitativa que las dos anteriores, y lo que se busca es estimar la probabilidad del evento. Esta etapa es de gran importancia, ya que, los resultados de ella son las pérdidas estadísticas, las cuales impactarán directamente en la toma de decisiones posteriores.

Herramientas como los estándares de diseño, códigos de buenas prácticas, listas de verificación, índices de riesgos, registros históricos de accidentes, análisis del tipo: "¿qué pasa sí?", análisis de riesgos y de operabilidad (en inglés HazOp), etc. son aplicadas para este análisis.

Otras herramientas que también pueden ser utilizadas en esta etapa, que son de gran utilidad por la visión que arrojan y debido a las dificultades que se presentan en la recolección de datos de accidentes; son los Árboles de Fallas y el Análisis del Árbol de Eventos, los cuales proporcionan probabilidades a la secuencia de eventos considerada.

A grandes rasgos, se puede asumir que las etapas para realizar un Análisis de Riesgos se concentran en los siguientes puntos:

1. Definir los alcances del estudio.
2. Identificar y evaluar y cuantificar los riesgos.
3. Evaluación de la aceptabilidad del riesgo.



4. Tomar medidas necesarias.
5. Revisión de la aceptabilidad del riesgo.
6. Reducción de riesgos.

2.4 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS ^(6,7,10,13, 17)

En nuestros días, las técnicas de Análisis de Riesgos existentes son muy variadas y con múltiples aplicaciones. Existen algunas que son del ámbito cualitativo y otras cuyo objetivo es cuantificar los riesgos existentes. Su aplicación va a depender del caso en estudio.

Existen varias técnicas de identificación y evaluación de riesgos que han demostrado ser eficientes en la práctica profesional desde hace varios años, sin embargo, estas técnicas difieren en la forma de rastrear y evaluar los riesgos en una unidad de proceso y en la aportación de resultados para hacer más eficiente su operabilidad. Una vez identificado el riesgo es probable que se tomen las medidas necesarias para reducirlo, incluso si la evaluación cuantitativa es defectuosa.

Los métodos de identificación de riesgos se dividen en tres categorías las cuales se aprecian en la **Tabla 2.3**.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS	EJEMPLOS
<ul style="list-style-type: none"> ○ Métodos comparativos 	<ul style="list-style-type: none"> • Comparación con códigos, estándares y normas • Listas de comprobación (checklists) • Análisis histórico de accidentes
<ul style="list-style-type: none"> ○ Índices de riesgo 	<ul style="list-style-type: none"> • Índice Dow • Índice Mond
<ul style="list-style-type: none"> ○ Métodos generalizados 	<ul style="list-style-type: none"> • Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (FMEA). • Análisis de Árbol de Sucesos (ETA). • Análisis de Error Humano. • Análisis " What-If ". • Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp). • Análisis de Árbol de Fallas (FTA). • Análisis de Consecuencias o Efectos.

Tabla 2.3. Clasificación de las técnicas de Análisis de Riesgos⁽¹⁴⁾.



2.4.1 MÉTODOS COMPARATIVOS

Como su nombre lo indica, estas técnicas se basan en la comparación de las condiciones del caso en estudio con códigos, normas o listas de comprobación. Estos documentos se elaboraron a partir de la experiencia adquirida a lo largo de la práctica de operaciones previas.

2.4.1.1 Comparación con códigos, estándares y normas

Esta técnica se basa en la comparación de las condiciones de la planta con manuales técnicos internos que indican la manera de cómo diseñar, distribuir, operar, dar mantenimiento, etcétera, a una planta de proceso. Dichos manuales deben regirse por los estándares de códigos y normas internacionales (ASME, ASTM, API, etc.), además, para este caso de estudio de las normas de PEMEX y Normas Oficiales Mexicanas (NOM). Cabe mencionar que ésta técnica no sólo funciona comparando y siguiendo las indicaciones de los manuales internos, sino que se debe tener una cierta experiencia para tomar las decisiones adecuadas.

Si se detectan diferencias en el diseño con respecto a los requerimientos documentados, se deben de investigar las razones por las cuales no se siguieron los procedimientos generales y establecer las medidas correctivas si estas son necesarias.

2.4.1.2 Lista de comprobación o verificación (Checklist)

Al igual que la anterior, ésta surge de la experiencia acumulada de múltiples operaciones. Una lista de comprobación permite comparar el estado de un sistema en estudio con un patrón externo, identificando de esta manera las áreas del sistema en las cuales se debe poner un mayor énfasis en la seguridad. Estas listas se pueden aplicar desde una manera general hasta una forma detallada.

También puede ser aplicada para la evaluación de equipos, materiales o procedimientos. En ella se realizan preguntas acerca de la organización, operación, mantenimiento y otras áreas importantes de la planta.

La metodología de esta técnica consiste en examinar cada uno de los elementos de un sistema y el resultado de esta supervisión es anotado en la Lista de Verificación.



Las **ventajas** que presenta esta técnica son:

- Se considera el método más sencillo para la identificación de riesgos.
- Permite la evaluación del grado de cumplimiento de los procedimientos.
- Permite la identificación de riesgos potenciales.
- Permite revisar y comprobar por separado, el estado de los elementos del sistema.
- Puede ser usada por personal de cualquier nivel.
- Está basada en reglas escritas, es decir, se tiene que seguir un formato para realizar una serie de acciones, las veces que sea necesario.
- Proporciona una documentación sencilla del estado en el que se encuentran los elementos inspeccionados, pero no establece categorías entre ellos.

Las **desventajas** que presenta esta técnica:

- No proporciona relación de las interacciones que pudiesen existir entre sistemas y subsistemas.
- Debido a que se analiza un elemento cada vez, muchas veces no se visualizan los riesgos generados por interdependencias o interacciones entre elementos de proceso y procedimientos.
- Limita el campo de análisis al atributo inmediato, restringiendo al personal en el empleo de sus capacidades de identificación de riesgos potencialmente peligrosos (imaginación, intuición, creatividad).

La principal desventaja es que, se ve completamente afectada por la experiencia de quién o quienes la realizan, ya que se pueden pasar por alto elementos críticos importantes que requieren de análisis más profundos.

La *Checklist* deberá realizarla un ingeniero experto familiarizado con el funcionamiento de las instalaciones y sea conocedor de los procedimientos, normas y reglamentos de seguridad. Una vez realizada la lista deberá auditarse (a comentarios) y actualizarse.

2.4.1.3 Análisis histórico de accidentes

Esta técnica utiliza un banco de registro de accidentes industriales. Dicho banco de datos se



usa para identificar posibles riesgos existentes en una planta de proceso similar a la que ya ha sufrido un accidente. Otro uso que se le da es el de comprobar la exactitud de los modelos empleados para la evaluación de efectos y consecuencias. Los peligros identificados durante el análisis son reales, siendo esto su principal ventaja.

Además, la información disponible sobre un accidente es limitada, ya que estos, en muchos de los casos, se registran incompletamente ó no se registran. Esto último, debido a que muchos de los riesgos potenciales que pudieron haber tenido consecuencias catastróficas no se transformaron en accidente potencial, por circunstancias afortunadas.

Aún con sus desventajas, el Análisis Histórico de accidentes es útil porque identifica peligros concretos, lo que permite a las plantas iniciar un análisis de riesgos más profundo para tomar la decisión, con base a su probabilidad de ocurrencia y su magnitud de daño, de aceptarlo o no.

Al llevar a cabo un estudio de los accidentes registrados en instalaciones similares o con productos idénticos o de la misma naturaleza, como se hace en un Análisis Histórico, conduce a que las principales fuentes de investigación para realizarse sean:

- Fuentes bibliográficas especializadas.
- Bancos de datos de accidentes.
- Registros de accidentes de las empresas o las asociaciones empresariales.
- Registros de accidentes de las autoridades competentes.
- Informes o peritajes.

Los **beneficios** que ofrece esta técnica son:

- Poco costosa.
- Útil para la estimación cuantitativa.
- Extremadamente útil en el procesamiento de productos de uso frecuente o masivo.

Obviamente, la principal **desventaja** que presenta es la mala recopilación de información bibliográfica.



2.4.2 ÍNDICES DE RIESGOS

Los índices de riesgos se utilizan para calificar a una instalación de proceso. Dicha calificación se obtiene asignando puntos buenos en base a las medidas de seguridad con que se cuenta en la instalación para evitar o minimizar un accidente. De igual modo se acreditan puntos malos (penalizaciones), tomando en consideración las condiciones de proceso, materiales utilizados en el mismo, etc. Al combinarse los puntos malos con los buenos se obtiene la calificación final que proporciona el índice de riesgo.

Los índices de riesgos más utilizados son el Índice Dow y el Índice Mond, ambos consideran la inflamabilidad y reactividad de los materiales en la asignación tanto de los puntos buenos como de las penalizaciones. Sin embargo, el Índice Mond toma en consideración también la toxicidad del material.

2.4.2.1 Índice Dow (de incendio y explosión)

El índice Dow proporciona un método directo y relativamente simple de estimar el riesgo global asociado con una unidad de proceso y es utilizado en la jerarquización de las unidades basándose en su nivel general de riesgo. Evalúa la existencia de peligros que puedan generar incendios y explosiones en grandes zonas de una planta de proceso.

Las etapas para llevar a cabo este estudio son:

- Dividir el proceso en diferentes unidades a las cuales les son asignados valores que se basan en la naturaleza química y física de las sustancias, condiciones a las que son sometidas durante el proceso, equipos, etc.
- Después se determina el Factor Material (MF), el cual es un valor relativo, comprendido entre 1 y 40, el cual es asignado a la(s) sustancia(s), de acuerdo con el potencial que tengan para liberar energía en un incendio o una explosión. Se ha elaborado una lista de sustancias usadas muy comúnmente en la industria, en la cual se puede buscar el MF, y también pueden encontrarse otras características de estas sustancias como calores de reacción, índices NFPA, peligros a la salud, inflamabilidades (Nf), reactividades (Nr), temperaturas de evaporación súbita o flasheo y las temperaturas de ebullición.



- Después se determinan los factores de riesgo que pueden existir y las combinaciones posibles, tales como la presencia de reacciones exotérmicas y el embarque y desembarque de sustancias potencialmente peligrosas son determinantes para asignar magnitud a los incidentes.
- Otros factores importantes, como la manipulación de sustancias a temperaturas cercanas a la de inflamabilidad y presiones diferentes a la atmosférica, también son factores que contribuyen cuando es asignada la probabilidad del incidente. Y es que, estos factores son las principales causas de incidentes en los que hay presencia de fuego y explosiones.
- Se realiza un conteo de riesgos presentes, en el cual se asigna una penalización en diferentes rubros, lo que permite obtener dos factores diferentes. El primero, factor de riesgos generales, que es calculado:

$$\text{FRG} = 1 + (\text{penalización por cada uno de los riesgos generales})$$

Y el Factor de Riesgos Especiales Para el Proceso:

$$\text{FREPP} = 1 + (\text{penalización por cada uno de los riesgos especiales})$$

- Después de haber estimado estos dos factores, los valores obtenidos se usarán para calcular el Factor de Riesgo en la Unidad, que es el producto de los dos anteriores. Generalmente, el valor obtenido oscila entre 1 y 8. Un tercer cálculo es utilizado para obtener el valor del Índice de Fuego y Explosividad (IFE) que resulta del producto del Factor de Riesgo y del Factor Material.

Este método no se utiliza para señalar riesgos individuales, sino que proporciona un valor numérico que permite identificar áreas en las que el riesgo potencial alcanza un nivel determinado.

Sobre estas áreas puede, en caso de ser necesario, hacerse un análisis de riesgos más detallado, aplicando una técnica generalizada, por ejemplo, la técnica HazOp, por lo que el valor numérico obtenido puede ser de utilidad a la hora de decidir la profundidad del estudio.

El índice Mond es similar al índice Dow con la diferencia de que el primero incluye aspectos de toxicidad, sin embargo, la última edición del índice Dow toma en cuenta, aunque ligeramente, aspectos de toxicidad y es más fácil de conducir por el uso de gráficos y ecuaciones.



Para hacer un índice Dow se requiere la siguiente información:

- Plano de distribución de la planta (plot plan).
- Diagrama de flujo de proceso (DFP).
- Condiciones de operación y de flujo.
- Formato de trabajo del índice Dow.
- Relación de costos del equipo instalado en la planta.

2.4.2.2 Índice de incendio, explosión y toxicidad (Mond)

Este índice es similar al anterior y, además, incluye la toxicidad de materiales. No obstante, el índice Dow permite una estimación más fácil, debido al uso de gráficos frente a ecuaciones que permiten la inclusión de aspectos de toxicidad, mediante una penalización específica.

Las **ventajas** que proporciona son:

- Relativamente sencillo, y lo puede realizar personal técnico que se le proporcione poco entrenamiento específico en Índice Mond.
- Es aplicable en cualquier etapa de la vida útil de la planta.
- Es un método rápido para evaluar las condiciones potencialmente peligrosas de fuego o explosión de algún proceso.
- Proporciona evaluación toxicológica de las sustancias que se estudian.
- Complementándose con factores financieros, puede proporcionar el potencial de riesgo en términos monetarios.
- Muy útil en las fases de planeación e ingeniería de proyectos.
- Muy útil en la etapa de Análisis de Riesgos de una planta en funcionamiento.
- Sólo requiere datos físicos y químicos de las sustancias que se analizan.
- En este estudio no son necesarios planos detallados de la planta ni del proceso, pero si requiere datos detallados de los inventarios máximos de los materiales, condiciones variantes en el proceso y un diagrama de distribución del área de almacenamiento y de proceso que sea detallado y confiable.



Las **desventajas** que se presentan son:

- No proporciona un Análisis de Riesgos detallado, sino que complementa a otras metodologías.
- Es un método relativista, por lo cual es recomendable que, en evaluaciones de nuevos procesos o tecnologías se empleen métodos más sistematizados, por ejemplo el Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp).
- Para comparar los resultados de este método aplicado a distintas áreas de la planta, será necesario que todos los estudios sean realizados por el mismo grupo de estudio, ya que se corre el riesgo de que, por ser un método relativista, no se consideren con los mismos parámetros y las situaciones no sean similares en todas las áreas.
- La experiencia del grupo asignado para realizar el análisis, deberá ser lo más amplia posible, ya que de no ser así, se pueden presentar situaciones de subjetividad, lo que se reflejaría en la ponderación de valores numéricos.

2.4.3 MÉTODOS GENERALIZADOS

Estos, a diferencia de los antes mencionados son más estructurados y con un esquema de razonamiento más sistemático. Entre los métodos generalizados más usados, están el Análisis "What if" y el Análisis de Formas de Fallas y Efectos. Cabe mencionar que el Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp" y el Análisis de Árbol de Fallas se clasifican como métodos generalizados, que se desarrollaron en la siguiente sección. Los métodos generalizados proporcionan esquemas de razonamiento más sistemáticos y son herramientas de análisis más versátiles y útiles.

2.4.3.1 Análisis de modos de fallas y sus efectos (FMEA)

A principios de la década de los 60's fue desarrollada la metodología conocida como Failure Modes and Effects Análisis, la cual es considerada como la formalización de la técnica conocida como "Wha if...", es decir, se transformó para poder ser utilizada en procesos y sistemas industriales más complejos.

El Análisis de modos de fallas y sus efectos, FMEA, tiene como principal objetivo el documentar y organizar los datos que se conocen acerca de los efectos de fallas de los componentes de un sistema.



El análisis FMEA consiste en un examen de componentes individuales con el objetivo de evaluar el efecto que una falla de estos mismos pueda tener sobre el sistema. Es un análisis sistemático, que se realiza poniendo énfasis en fallas de funcionamiento de componentes. En el contexto de este análisis, una modalidad de falla es un síntoma, una condición o un modo de operación asociado a la falla del componente. El modo de la falla puede identificarse como una pérdida de la función del componente, funcionamiento prematuro, funcionamiento fuera de tolerancia o una característica física indeseada.

En el análisis FMEA todas las formas conocidas de falla de los componentes se consideran por turnos y las consecuencias de la falla son analizadas y registradas.

Para llevar a cabo el FMEA se requiere de los siguientes componentes:

- a) Diagramas de tubería e instrumentación.
- b) Diagramas eléctricos.
- c) Procedimientos de operación.
- d) Diagramas de lógica instrumental.
- e) Información sobre controles e interdependencia.

El equipo de trabajo debe tener la información suficiente para comprender el diseño y la operación de un componente y su interacción con el sistema del que forma parte. Como siguiente paso se debe definir un formato adecuado para el estudio, con esto se logra una mayor coherencia en el análisis. Las **ventajas** que ofrece son las siguientes:

- Tiene un fácil desarrollo al nivel de componente que le sea asignado.
- Para interpretarlo, no es necesario que el personal sea adiestrado previamente.
- Se requiere de poco tiempo en el caso de que se solicite un estudio detallado.
- Se pueden identificar rápida y fácilmente fallas de alta gravedad.

Las principales **desventajas** que presenta son:

- Debido a que es desarrollado al nivel de componentes, se pueden dejar de lado las interacciones que existen entre otros componentes o entre sistemas.



- No proporciona la suficiente cuantificación uniforme en cuanto a los efectos del sistema.
- Se requiere de mucha experiencia por parte del grupo de análisis.

2.4.3.2 Análisis de árbol de sucesos (ETA)

Esta técnica surge de un suceso determinado e investiga mecanismos razonables mediante los cuales éste puede tener lugar. El análisis de árbol de sucesos (Event Tree Analysis) evalúa las consecuencias que puedan tener lugar a partir de un suceso determinado. El ETA hace énfasis en un suceso inicial que se supone ha ocurrido, se construye el 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 o bien se anula la secuencia de circunstancias evitando el efecto final.

Entre las **ventajas** con las que cuenta están:

- Muestra de forma gráfica los posibles resultados del accidente que se estudia.
- Se pueden estudiar procesos complejos que tienen varias capas de sistemas de seguridad.
- Permite el estudio de diferentes escenarios y el establecimiento de una estructura jerárquica, pues se toma en cuenta la severidad y frecuencia con la que ocurre.
- Se pueden seleccionar los escenarios de emergencia para evaluarlos de forma cuantitativa y proponer maneras de respuesta adecuada.

Entre las **desventajas** que presenta se encuentran:

- Considera únicamente las respuestas del sistema de seguridad y de los operadores al evento iniciante.
- Los resultados son secuencias de accidentes, conjuntos de fallas o errores que conducen al accidente.

2.4.3.3 Análisis de error humano

La mayoría de los accidentes que implican daños, muertes o pérdidas materiales son atribuibles en buena medida a los errores de tipo humano; estos errores pueden presentarse durante cualquier etapa de la vida de un proceso, es por eso que nace esta técnica.



El análisis de error humano es una evaluación sistemática de los factores que influyen en el comportamiento y desempeño del personal de la planta. Durante el análisis se buscan los factores físicos y ambientales involucrados en el trabajo como habilidades, nivel de conocimiento, adiestramiento, etc. El propósito de este análisis es localizar áreas o situaciones en las cuales la persona encargada está expuesta a tomar decisiones impropias que podrían conducir a un evento indeseable.

Los resultados de un análisis de error humano son:

- Lista de errores humanos que podrían ocurrir durante las operaciones normales y de emergencia.
- Lista de factores que contribuyen a cometer errores.
- Lista de recomendaciones propuestas para eliminar o reducir dichos errores.
- Interfases del sistema que fueron identificadas y que son afectadas por errores particulares, jerarquizadas de acuerdo a la probabilidad de frecuencia y de la magnitud de las consecuencias que conlleve.

La información que se requiere para realizar un análisis de error humano es la siguiente:

- Procedimientos de operación normal y de emergencia.
- Conocimiento del nivel de capacitación y adiestramiento a los empleados.
- Descripción de tareas y arreglo de los tableros de control y alarmas.
- Características físicas y ambientales del puesto.

Entre las **ventajas** que ofrece se encuentran:

- Sus resultados son fáciles de actualizar en el caso de que se presenten cambios de diseño o modificaciones en la planta o el proceso.
- También se pueden actualizar sus datos en caso de que se presenten cambios en los sistemas de adiestramiento o entrenamiento.

Y las **desventajas**:

- Las situaciones y medidas que se lleven a cabo para disminuir los riesgos, podrían cambiar de una temporada a otra, y de persona en persona.



- Áreas ó situaciones en las cuales la persona encargada está expuesta son la mayoría de las veces específicas en cada persona y por consiguiente, le afecta de forma distinta.
- También las características físicas y ambientales de cada puesto son muy variantes para cada persona y en distintas épocas.

2.4.3.4 Análisis "What-if?" ("¿Qué pasa si...?")

Este método, por medio de un proceso especulativo, emplea la técnica denominada "Tormenta de Ideas", en el cual, un grupo interdisciplinario de expertos familiarizados con el proceso de estudio tiene que responder la pregunta: "¿Qué pasa si...?", aplicándola a una serie de elementos que poseen un potencial de riesgo. Dichos elementos pueden ser instalaciones del sistema o procedimientos de operación. Este tipo de Análisis es muy flexible, ya que se puede aplicar desde un área de proceso grande hasta un solo equipo en particular, teniendo la misma confiabilidad en ambos casos.

Además, el Análisis What-if es un método menos estructurado comparado con el Análisis de Modo de Falla y Efectos, el Análisis de Riesgos y Operabilidad, etc. Debido a esta falta de estructuración, se requiere mayor experiencia por parte de las personas que lo aplican.

El objetivo de un estudio What-if es buscar consecuencias de posibles eventos no deseados y es aplicado en el diseño, construcción, modificación y operación de instalaciones industriales.

Este método requiere la siguiente información: a) Diagramas de tuberías e instrumentación (DTI's) así como, b) Procedimientos de operación.

Las **ventajas** que presenta son:

- Es un método que puede ser usado en cualquier etapa del proyecto.
- Puede ser usado frecuentemente en las plantas de proceso, donde se estén realizado modificaciones o mejoras del proceso.
- Los riesgos que se identifican son a corto plazo o accidentales.
- Se puede implementar a sistemas completos o a subsistemas de éste, de acuerdo a las conveniencias del análisis.



Algunas de las **desventajas** que tiene:

- Es una técnica especulativa.
- Debido a que no se encuentra estructurado, es necesaria mucha experiencia por parte del grupo que lo realice.
- No detecta riesgos a mediano y largo plazo.

2.5 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL PRESENTE TRABAJO

2.5.1 Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp, por sus siglas en inglés)

El HazOp (del inglés: Hazard & Operability Analysis), es una técnica que fue desarrollada para identificar riesgos y mejorar la operabilidad y las condiciones de seguridad de una planta de proceso.

El objetivo principal para la mejora del análisis HazOp es detectar fallas de equipo y operacionales, ocasionadas por fallas en los controles administrativos y de ingeniería y mejorar la operabilidad y confiabilidad de los equipos de proceso.

Los controles administrativos son los que la administración establece mediante acciones como la revisión, modificación, actualización o elaboración de procedimientos, programas o normas, la capacitación del personal de todos los niveles del negocio, la adquisición y provisión de equipo o herramientas adecuadas a los trabajadores para evitar lesiones, la disminución de tiempos de exposición a sustancias tóxicas, ruido, radiación térmica, etc.

Los controles de ingeniería se establecen con la aplicación de la tecnología y de las mejores prácticas de manufactura como, por ejemplo, la sustitución de materiales peligrosos por materiales menos peligrosos, las modificaciones en los procesos (cambio de equipo o máquina, cambio en las condiciones de operación, etc), el aislamiento o confinamiento de los procesos, la ventilación, la extracción, el mantenimiento predictivo y preventivo (por ejemplo lubricación y análisis de vibraciones), el orden y la limpieza, la eliminación de desechos, etc.

La falta de controles administrativos aumenta la posibilidad de error humano y de fallas mecánicas.



La falta de controles de ingeniería aumenta la posibilidad de daños a la salud y a la integridad física del personal, al ambiente y a la propiedad, los cuales pueden ser ocasionados por las siguientes causas: emisión de contaminantes, condiciones inseguras, fallas mecánicas debidas al pobre mantenimiento a los sistemas de tubería y a los equipos de proceso, descontrol en los límites de operación y seguridad o porque no se aplica o se aplica incorrectamente el procedimiento de administración de cambios.

En resumen, la técnica HazOp tiene como objetivos principales:

1. Mostrar una herramienta de análisis de riesgos que permita detectar fallas de equipo y operacionales ocasionadas por fallas administrativas.
2. Integrar en un análisis de riesgos los controles administrativos y de ingeniería.
3. Mejorar la operabilidad y confiabilidad de los equipos de proceso.

La técnica "HazOp" es una herramienta sistemática usada por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad en una planta química, petroquímica o de refinación, en los niveles administrativo y operacional, la cual usa una serie de palabras guía que se aplican a cada parámetro seleccionado para determinar, mediante la discusión propositiva y la generación de ideas, lo siguiente:

- Las desviaciones de los parámetros de operación y de un paso del procedimiento o programa.
- Las causas que las propician y sus consecuencias.
- Los sistemas de protección o mitigación, que reducen la frecuencia de dichas causas y la gravedad de sus consecuencias.
- Los índices de riesgos, los cuales se obtienen combinando las frecuencias/probabilidades y la gravedad.
- Las recomendaciones para eliminar, reducir o controlar los riesgos encontrados y las acciones para resolverlos.

La persona con la responsabilidad de conducir el estudio "HazOp", debe demostrar dominio de la técnica, debe tener conocimientos sobre seguridad industrial y salud ocupacional, debe conocer la normatividad nacional y los estándares internacionales y debe tener la habilidad para propiciar la discusión propositiva del equipo multidisciplinario.



Tomando en cuenta que un estudio "HazOp" es una actividad intensa que propicia la discusión y la generación de ideas, se recomienda que las sesiones "HazOp" no sean muy largas para evitar caer en ofuscamiento mental o que decaiga el interés por participar.

La selección de la planta o el área de la planta para realizar un análisis "HazOp" debe hacerse con base en los siguientes cuatro puntos:

1. Nivel de peligrosidad de la planta o del área de la planta.
2. Tipo y cantidad de material procesado, almacenado o transportado.
3. Registro de incidentes o accidentes ocurridos.
4. Modificaciones y/o cambios realizados al proceso y/o equipo.

Una ventaja que tiene el Análisis HazOp es que, al ser sistemático, se reducen las posibilidades de que algo quede sin ser analizado. Otras **ventajas** son:

- Cada vez que una desviación razonable es identificada, se analizan sus causas, consecuencias, salvaguardas y posibles acciones correctivas.
- Debe ser realizado por un grupo interdisciplinario, el cual aporte sus conocimientos y experiencias cada uno en su área respectiva de trabajo para enriquecer el análisis.
- Al ir avanzando en el análisis, se van proponiendo soluciones que se formulan desde diferentes puntos de vista profesional.

2.5.1.1 Metodología para el estudio HazOp

- Recopilación de información.
- Actualización de DTI'S y DFP'S.
- Selección de circuitos.
- Establecer las reglas del juego.
- Aplicar la técnica HazOp.
- Identificar escenarios de accidentes.
- Aplicación de la técnica del AAF y AC.
- Reporte HazOp.



Recopilación de información

- Obtener mediante manuales de operación el conocimiento pleno del proceso (tanto físico como químico) y se debe conocer y tener a la mano los procedimientos normativos internos, la normatividad local y nacional y estándares internacionales.
- Revisar los registros históricos de incidentes ó accidentes así como también los registros de calibración y prueba de líneas y válvulas de relevo (PSV's).

Toda esta información deberá estudiarse (con el fin de conocer el proceso operativo) y 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).

Actualización de DTI'S y DFP'S

Para poder realizar correctamente el análisis, se deben actualizar previamente y verificar que estén correctos todos los diagramas que se van a utilizar, DTI'S, DFP'S y diagramas de localización de equipo (plot plan), ya que se tiene que trabajar con información real.

Selección de Circuitos

- Seleccionar los circuitos (en orden jerárquico) en los que se aplicará la técnica HazOp.
- Revisar y actualizar (si es necesario) los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) y los Diagramas de Flujo de Proceso (DFP's) para cada circuito seleccionado, así como también revisar las hojas de datos de equipo y líneas.
- Realizar un recorrido en el área con el grupo HazOp, con el fin de observar las condiciones de seguridad en el circuito a analizar.

El coordinador o líder del grupo debe tener experiencia en realizar estudios HazOp, ya que sistemáticamente guiará al equipo a través del diseño de la planta usando una serie de palabras guía. Estas palabras son aplicadas a circuitos y más específicamente a nodos, y serán combinadas con parámetros específicos del proceso para identificar desviaciones potenciales de la planta en operación.



Para realizar un estudio HazOp la planta se dividirá en circuitos. Se denomina *circuito* a la sección de una planta de proceso claramente definida, la cual está bien delimitada y tiene características en el mismo proceso bien definidas por equipos y por segmentos de tubería. Por otro lado, cada circuito se subdivide en nodos, un *nodo* se puede identificar por el cambio de propiedades, en su origen comienzan nuevas propiedades del material y en su destino nuevamente hay un cambio de propiedades, este debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y lo suficientemente grande para ser significativo.

Establecer las reglas a seguir

- Llegar a un acuerdo acerca de los horarios, sede, materiales, participación, etc. por parte de todos los integrantes del grupo.
- Hacer hincapié en que todos deben de participar de forma activa en las sesiones, sin importar jerarquías o áreas en las que se labore.
- Evitar las confrontaciones entre los diferentes puntos de vista de cada uno de los asistentes. Aquí el facilitador deberá de tener el tacto y la habilidad necesaria para poder incluir todas las opiniones.

Aplicar la técnica HazOp

Los elementos básicos necesarios para arrancar este análisis son:

- Una persona con experiencia en este tipo de estudios, la cual dirija la sesión y haga el papel de facilitador o guía el cual, debe también tener conocimientos generales del proceso y tendrá que promover la discusión y participación del equipo multidisciplinario.
- Un secretario, éste estará encargado de registrar las decisiones que han sido tomadas por el grupo de trabajo, algo que se hace de vital importancia, sobre todo cuando el estudio se torna complicado y el facilitador debe de guiar al grupo usando simultáneamente varias fuentes de datos.
- Un equipo multidisciplinario conformado por las siguientes integrantes: el operador de la planta, un ingeniero de proyectos, un ingeniero de proceso, un ingeniero instrumentista, un ingeniero de mantenimiento (mecánico y eléctrico), un ingeniero de mantenimiento de plantas, un ingeniero encargado de la seguridad industrial, operadores de la planta, etc.
- Los Diagramas de Tuberías e Instrumentación completos y actualizados.

**Identificar los escenarios potenciales de accidentes**

- Seleccionarán un o unos de los circuitos de la planta que sea(n) representativo(s) para posteriormente dividirlo en nodos.
- Identificarán las posibles desviaciones, rechazando aquellas que no se consideren razonables, o las que no den lugar a consecuencias importantes.
- Seleccionarán la desviación que se pueda aplicar al nodo.
- Identificarán las posibles causas, además de las consecuencias de cada desviación.
- Durante la aplicación de la técnica es posible determinar, además de las desviaciones, causas, consecuencias, salvaguardas, recomendaciones o acciones, los límites de operación seguros (de temperatura, presión, nivel, etc.), las cuales es conveniente registrarlas para que más adelante sean discutidas con detalle.

Palabras guía

Estas palabras son aplicadas a circuitos y más específicamente a nodos, las cuales son combinadas con parámetros específicos del proceso para identificar desviaciones potenciales de la planta en operación. Ver **Tabla 2.4**.

PALABRA GUÍA	APLICACIÓN	EJEMPLOS
NO	La completa negación de la intención del diseño. Ninguna parte de la intención se logra.	<ul style="list-style-type: none"> • El procedimiento no se lleva a cabo • No hay flujo de inhibidor de corrosión
MÁS / MENOS	Aumento o disminución cuantitativa sobre la intención de diseño. Se refiere a cantidades y propiedades físicas.	<ul style="list-style-type: none"> • La presión que se tiene es menor a la presión de operación • Aumento de la concentración de alguna sustancia corrosiva dentro de tuberías
ADEMÁS DE/ TAMBIÉN CÓMO	Se consiguen las intenciones de diseño, además de ocurrir algo más.	<ul style="list-style-type: none"> • El vapor consigue calentar al reactor, además, eleva la temperatura en otros equipos • La corrosión, además de atacar la tubería, ataca a otros equipos
PARTE DE INVERSO	Disminución cualitativa. Sólo parte de la intención se logra. Se obtiene el efecto contrario al deseado.	<ul style="list-style-type: none"> • Sólo se lleva a cabo una de las reacciones previstas • Parte del flujo se pierde debido a fugas por corrosión • Se obtiene flujo inverso • Se obtiene reacción inversa

Tabla 2.4 Palabras guía utilizadas en el Análisis HazOp



El estudio se basa en la aplicación de los parámetros más representativos de la planta y las palabras guía más adecuadas para que se cubra en su totalidad al proceso y así identificar las posibles desviaciones. Cuando se combinan las palabras guía con los parámetros se obtiene una matriz generalizada de posibles desviaciones, la matriz es mostrada en la **Tabla 2.5**.

	NO	INVERSO	MÁS	MENOS	TAMBIÉN CÓMO	PARTE DE	OTRO QUE
FLUJO	Ausencia de flujo	Retroceso de flujo	Aumento en el flujo	Disminución en el flujo	Flujo contaminado	Sin la composición adecuada	Sustancia o material equivocado
PRESIÓN	Vacío	No Aplica	Mayor presión	Menor presión	Golpe de ariete	No Aplica	Fugas
TEMPERATURA	No Aplica	No Aplica	Alta Temperatura	Baja Temperatura	Oxidación	Gradiente	No Aplica
VISCOSIDAD	No Aplica	No Aplica	Aumento de la viscosidad	Disminución de la viscosidad	No Aplica	Cambio de fase	No Aplica
NIVEL	Recipiente vacío	No Aplica	Aumento de nivel	Disminución del nivel	No Aplica	No Aplica	No Aplica
MEZCLA	No mezcla (sustancia pura)	No Aplica	Aumento de un componente en la mezcla	Disminución de un componente en la mezcla	Espuma	No Aplica	No Aplica
REACCIÓN	No existe reacción	Existe reacción inversa	Reacción excesivamente rápida (se sale de control)	Reacción lenta (poco eficiente)	Existe cambio de fase	Hay reacciones secundarias	La reacción no es la correcta o la adecuada

Tabla 2.5. Matriz generalizada de posibles desviaciones

Evaluación de los niveles de riesgo

Después de localizar las desviaciones con la aplicación de las palabras guía y en combinación con el parámetro deseado, se procede a evaluar los niveles de riesgo de las causas identificadas tomando como base la frecuencia y la gravedad. El equipo multidisciplinario aplica sus conocimientos para clasificar el nivel de frecuencia y gravedad de las consecuencias.

En las **Tablas 2.6 y 2.7**, se presentan las tablas de frecuencia y de gravedad. Estas tablas son utilizadas para la clasificación que más adelante darán origen a la Matriz de Riesgos.



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

Tabla 2.6 de Frecuencias⁽¹⁶⁾

Núm.	Gravedad	Aspecto	Descripción
1	Catastrófico	Personas	Pérdida de una o más vidas fuera de la Refinería
		Instalaciones	Daños por más de \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga mayor que requiere limpieza fuera de la Refinería
		Operación	Paro de la Refinería
2	Mayor	Personas	Un lesionado fuera de la refinería y una pérdida de vida dentro
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$2,500,000 y \$25,000,000
		Medio Ambiente	Fuga mayor que no requiere limpieza fuera de la Refinería
		Operación	Paro de más de una planta
3	Significativo	Personas	Varios lesionados dentro de la Refinería
		Instalaciones	Daños por un monto entre \$250,000 y \$2,500,000
		Medio Ambiente	Fuga menor que requiere limpieza dentro de la Refinería
		Operación	Paro de una planta
4	Importante	Personas	Un lesionado dentro de la Refinería
		Instalaciones	Daños por menos de \$250,000
		Medio Ambiente	Fuga menor
		Operación	Paro del equipo o sección de planta

Tabla 2.7 de Gravedades⁽¹⁶⁾



La gravedad de la consecuencia también la determinará el equipo multidisciplinario, según su experiencia, considerando los parámetros de la tabla anterior.

Estos dos factores se unen en una "Matriz de Riesgos" que determina el nivel de riesgo. Los riesgos de 1 a 3 son inaceptables, de 4 son indeseables, los de 6 son aceptables con controles, mientras que del 7 al 10 son aceptables como están. Ver **Tabla 2.8.**

		Gravedad				
		4	3	2	1	
Frecuencia	6	4				1
	7	6	4			2
	9	7	6	4		3
	10	9	7	6		4

Tabla 2.8. Matriz de Riesgos

Una vez estimado el riesgo se le asigna una letra de la **A** a la **D** para clasificar la recomendación o recomendaciones que se planteen para disminuir dicho riesgo, originando una matriz de clases de riesgos como la que se observa en la **Tabla 2.9.**

		Gravedad				
		4	3	2	1	
Frecuencia	C	B				1
	D	C	B			2
	D	D	C	B		3
	D	D	D	C		4

Tabla 2.9. Matriz de Clases de Riesgos



La matriz de índices de riesgos

Cuando se tienen categorías de frecuencias y consecuencias para los accidentes que han sido detectados en el análisis HazOp, se les pueden asignar calificaciones de riesgo según sean las recomendaciones que se hayan formulado. El resultado puede ser una Matriz de Riesgos, la cual representa las consecuencias de los daños a los equipos y las instalaciones.

La Matriz de Riesgos se forma a partir de los niveles de riesgo, que son el nivel de frecuencia y nivel de gravedad. Después el equipo multidisciplinario clasificará las recomendaciones según su nivel de riesgo, el cual fue establecido por el equipo multidisciplinario.

Con la matriz y el índice o número de riesgo podemos tomar decisiones sobre la aceptabilidad o no del riesgo, o bien asignar prioridades a las acciones recomendadas. Cuando la matriz establezca las prioridades de las recomendaciones a implementar, deberá combinar la probabilidad de ocurrencia de un accidente y la severidad o gravedad de las consecuencias del mismo. **Tabla 2.10.**

Núm.	Clase	Descripción	Seguimiento
1 a 3	A	Inaceptable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase C o menor dentro de un periodo de 6 meses
4	B	Indeseable	El riesgo deberá mitigarse mediante controles de ingeniería y/o administrativos hasta un riesgo clase C o menor dentro de un periodo de 12 meses
6	C	Aceptable con controles	Debe verificarse que los procedimientos o controles estén en su lugar, en uso y que sean efectivos
7 a 10	D	Aceptable como está	No se requiere mitigar el riesgo

Tabla 2.10. Clases de Riesgo



Aplicación de la técnica de AAF y AC

Después del análisis "HazOp" se debe hacer una evaluación cuantitativa de los riesgos potenciales encontrados mediante un análisis de árbol de fallas (AAF) y una evaluación de efectos y daños que producirían estos riesgos potenciales, empleando el análisis de consecuencias (AC).

Elaboración del reporte HazOp

La forma más conveniente de que se vaya registrando la información es en un archivo de riesgos, el cual deberá contener:

1. Copia de todos los documentos generados por el estudio, y que han sido usados y marcados por el equipo de estudio. Estos pueden ser:
 - Diagramas de flujo.
 - Hojas de especificaciones.
 - Planos y modelos.
 - Instructivos de operación y mantenimiento.
 - Programas.
 - Normas y procedimientos.
 - Etc.
2. Copia de todos los papeles y notas de trabajo, conteniendo las preguntas, sus posibles respuestas, recomendaciones, modificaciones al diseño original, etc.

Se requiere de información que represente por completo el estado actual de una planta (cuando el estudio se realiza en la etapa de operación).

Antes de iniciar un estudio HazOp es importante revisar la información que regularmente se usa para asegurar la calidad del estudio y prevenir riesgos; en orden de importancia: los procedimientos operativos y de mantenimiento, el programa de revisión de instrumentos y detectores (protecciones), etc. Frecuentemente se encuentran procedimientos imprecisos, no actualizados, no difundidos correctamente y además, archivados, lo que conduce al personal



encargado de aplicarlos a usar notas informales que, en muchos de los casos o en casi todos, provocan la omisión de pasos importantes de un procedimiento correcto.

2.5.2 Análisis de Árbol de Fallas (AAF)

El análisis de Árbol de Fallas, es una técnica deductiva que cuantifica la probabilidad de ocurrencia de un accidente y construye un diagrama lógico de todas las posibles causas que puedan llevar a la realización del accidente.

Basado en elementos propios del álgebra Booleana (Ver **Apéndice D**), el Análisis de Árbol de Fallas, es un modelo gráfico en el cual se plasman los eventos intermedios que dan origen a un evento no deseado llamado "**evento culminante**". Al referirnos a eventos intermedios debemos entender que son fallas, que al combinarse dan origen al evento culminante o evento tope, es decir, al accidente.

Los eventos culminantes son situaciones específicas que fueron detectadas por técnicas menos detalladas (por ejemplo Análisis "What if..." o HazOp).

La técnica supone un suceso no deseado (un accidente o una desviación peligrosa de cualquier tipo, que ya haya o no 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 fallas humanas o de equipos de planta, sucesos externos, etc.

En esta técnica existen tres áreas importantes para su estudio:

- a) El Riesgo: evento potencialmente peligroso. Debido a que los riesgos son inevitables, siempre existirá la posibilidad de que ocurran accidentes, por mínimo que éste sea.
- b) Existencia de eventos que, individualmente o de forma conjunta, pueden generar riesgos. Entre las principales causas de los Riesgos en las plantas Químicas se encuentran: 1) fallas de equipo, 2) falta o fallas de mantenimiento, 3) fallas en los instrumentos, 4) capacitación inadecuada a operadores y 5) errores humanos.
- c) Sistemas de protección al proceso y a la planta ya que pueden fallar alarmas, válvulas de alivio, discos de ruptura, válvulas de venteo, sistemas automáticos de seguridad, etc.



Los eventos culminantes, es decir, accidentes, son descompuestos en un grupo de fallas, buscando las combinaciones que le dan origen. A los grupos de combinaciones son llamados "conjuntos mínimos" se pueden definir como la asociación más pequeña de fallas que, si llegan a existir o suceder simultáneamente, el evento se presentará. La probabilidad del evento culminante se determina sumando y multiplicando las probabilidades entre sí, tal como se hace con las variables del álgebra Booleana.

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. Los resultados son cualitativos, sin embargo, pueden ser cuantitativos si los datos de la relación de fallas están disponibles para el evento. Normalmente una persona puede ser asignada para elaborar un árbol de fallas para un accidente dado. Esta persona deberá de tener conocimiento del proceso que se lleva a cabo en la planta. La preparación de este árbol depende del tamaño y la complejidad del equipo.

2.5.2.1 Metodología para el Análisis de Árbol de Fallas

1. Identificación de la falla del sistema. A este evento se le designa como "evento culminante" que será analizado y lo ubicaremos en la parte superior del árbol.
2. En el siguiente nivel del sistema, que se denominará subsistema, se identificaron 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 acción individual de cada una de ellas.
4. Usar la estructura lógica de puertas "Y" u "O" para mostrar la relación de fallas del subsistema que producen al evento cúspide. La "Y" significa que las frecuencias o probabilidades deben ser multiplicadas y la "O" significa que estas deben ser sumadas.

NOTA: Según la lógica Booleana, en un conjunto de elementos, en este caso fallas, bastará con que exista una relación de conjunción (puerta "Y") entre dos de ellas para que la compuerta lógica del conjunto sea "Y".

5. Descender al nivel próximo inferior del sistema y repetir los pasos 2 al 4 hasta que se hayan identificado todas las fallas del nivel de componentes.



6. Con datos de frecuencia o probabilidad de fallas en el nivel de componentes, computar la frecuencia o probabilidad de las fallas descritas en el nivel ubicado arriba del nivel de componentes usando las puertas "Y" u "O".
7. Seguir con 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 halla sido calculada.
8. Cuando todas las secuencias razonables se han identificado y el árbol ha sido completado de la forma adecuada, el análisis de árbol de fallas es una herramienta muy poderosa en la cuantificación de riesgos y es uno de los análisis de riesgos más estructurados.

En la **Tabla 2.11** se muestran los nombres, significados y símbolos para las puertas usadas en el Árbol de Fallas. Esta técnica supone básicamente que, todos los eventos intermedios que dan origen al evento culminante suceden en un estado de falla o en el estado de realización de algún trabajo.

NOMBRE DE LA COMPUERTA LÓGICA	APLICACIÓN	SÍMBOLO
SUCESO INTERMEDIO	Resultan de la interacción de otros sucesos 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 aún más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.	
"O"	Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.	
"Y"	Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los signos de entrada para producir el proceso de salida.	
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 suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas.	
TRANSFERENCIAS	Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol en otra parte (por ejemplo, en otra página, por falta de espacio).	

Tabla 2.11. Símbolos de las compuertas lógicas usadas en un Árbol de fallas.



Las fallas o faltas que aparecen en el diagrama del árbol se pueden agrupar en tres categorías: primarias (desperfectos de elementos o componentes que son sometidos a condiciones para las cuales no han sido diseñados), las cuales se atribuyen a defectos en el componente; secundarias (fallas de equipos que, al ser sometidos a condiciones que no corresponden a su diseño tienen fallas en su funcionamiento), que se atribuyen a causas externas ya que el equipo no está diseñado para esas condiciones; y las de comando (a pesar del buen funcionamiento de los elementos de proceso, no se logra la respuesta deseada debido a una mala operación o a un mal control).

A continuación se especifican algunas de las **ventajas** que posee:

- Puede aplicarse a un solo sistema o a sistemas interconectados.
- Debido a que se usa Álgebra Booleana, se reduce el manejo de variables, de una forma fácil y rápida.
- Toma en cuenta factores mecánicos y humanos.
- Permite el análisis del efecto de los cambios o adiciones de equipo al proceso.
- Puede ser usado durante el diseño, modificación u operación de la unidad.
- Puede ser realizado por personal capacitado de forma adecuada.
- Las secuencias de eventos que conducen a accidentes son investigadas.
- Al no ser investigadas las secuencias de eventos sin consecuencias graves, el tiempo de realización disminuye al igual que el trabajo.
- Tiene la facultad de investigar fallas complejas.

2.5.3 Análisis de Consecuencias

Mediante éste se pueden estimar de manera cuantitativa los daños que provocaría un accidente tanto a personas como a sus bienes. Esta estimación se realiza utilizando una serie de modelos matemáticos.

Con un análisis de consecuencias se puede estimar la magnitud de los daños ocasionados por un accidente, por ejemplo, al manejar, transportar o procesar una sustancia o material peligroso, generadas por la naturaleza de sus características de toxicidad, reactividad, inflamabilidad y explosividad. Este tipo de estimaciones se realiza mediante el uso de modelos matemáticos, los cuales simplifican los mecanismos por los que se da un incidente, ya que estos son muy diversos y pueden ser muy complejos.



Estos modelos requieren de los siguientes datos:

- a) Propiedades físicas y químicas de las sustancias.
- b) Características del contenedor o los contenedores.
- c) Condiciones físicas o atmosféricas del lugar o sistema de estudio.

Para la selección del tipo de modelo que se utilizará, primero se debe determinar el escenario del accidente, identificándolo con alguna técnica de análisis de riesgos que sea más cualitativa, posteriormente se determina las consecuencias y por último se cuantifican las pérdidas o daños.

Los accidentes más frecuentes que ocurren en la industria química son los incendios y las explosiones, seguido por fugas de sustancias tóxicas, por eso, la evaluación de consecuencias de incendios y explosiones, requiere de conocimiento de datos que definan el escenario en el cual ocurre.

Por lo tanto, se debe conocer las siguientes características de las sustancias con las que se involucra el accidente que se está analizando:

- Propiedades de los distintos materiales en cuanto a incendios y explosiones.
- Cuanto material dentro de los límites de inflamabilidad existe en una nube en el momento de la explosión o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado.
- Las consecuencias de un incendio o de una explosión en un escenario determinado.
- Procedimientos para reducir o mitigar el riesgo de incendio y explosión.

Esta técnica puede hacer un buen Análisis de Riesgos si es usada en combinación con las técnicas HazOp y Análisis de Árbol de Fallas.

La técnica HazOp identifica riesgos de operabilidad, la técnica AAF los cuantifica (determina la probabilidad o la frecuencia de ocurrencia del evento culminante o potencial, el cual se identifica con la técnica HazOp) y permite tomar decisiones, ya que se sabe cuales son las posibles causas que originaron dicho suceso y el Análisis de Consecuencias determina los efectos de un accidente potencial identificado, información que sirve de base para llevar a cabo acciones específicas y tratar de reducirlas.



Es posible aplicar dos o más técnicas para un determinado nodo, siempre y cuando, éstas nos proporcionen resultados diferentes que enriquezcan el estudio.

Si se aplican dos técnicas diferentes, por su naturaleza, para un mismo nodo, no quiere decir que se está haciendo un análisis de riesgos completos. Si se aplican dos o más técnicas generalizadas; por ejemplo, HazOp, AAF y AC (Análisis de Consecuencias), se está haciendo un estudio completo de riesgos (identificación, evaluación y cálculo de efectos).

2.5.3.1 Modelos para Análisis de Consecuencias

Los accidentes más recurrentes en la industria química y los más documentados son incendios, explosiones y derrames de sustancias tóxicas a la atmósfera. Y es que, como ya se mencionó, la naturaleza de las materias primas, procesos y productos terminados que se utilizan en su operación son muchas veces impredecibles cuando se modifica alguna condición que no esta lo suficientemente estudiada.

Existen tres factores indispensables para generar fuego, estos son:

1. Combustible
2. Oxidante o comburente
3. Una fuente de ignición

El combustible puede ser casi cualquier material o gas inflamable, el oxidante es casi siempre oxígeno, el cual puede disponerse mediante diversas fuentes entre las que se incluyen fugas o derrames entre otros y por último, la fuente de ignición puede tenerse mediante una chispa mecánica o electrostática, una llama, un impacto, calor producido por efectos cinéticos, fricción, reacción química, etc. Ciertas combinaciones de oxígeno, combustible y fuentes de ignición dan casi siempre como resultado la creación de fuego o explosión.

A continuación se establecen los modelos para representar accidentes donde se ve involucrado fuego y en el **Apéndice E**, se presentan una serie de términos usados en el estudio de accidentes en los que se ve involucrado fuego.



2.5.3.2 Ecuaciones de modelamiento

1. Modelos para Límites de Inflamabilidad

- **Modelo de Jones:**
 - **Ecuación:**

$$L..S.I. = 3.55 \times C_{esteq}$$

$$L.I.I. = 0.55 \times C_{esteq}$$

Donde:

C_{esteq}: la concentración estequiométrica del producto inflamable para la combustión en una mezcla con aire.

L.S.I._i: es el límite superior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

L.I.I.: es el límite inferior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

- **Modelo de Spakowaki:**
 - **Ecuación:**

$$L.I.I. \times (-\Delta H_{COMB}) = 4.354 \times 10^3$$

Donde:

(-ΔH_{comb}): El calor de combustión (superior) estándar, expresado en kJ/mol,

L.I.I.: en porcentaje de volumen.

L.I.I.: es el límite inferior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

2. Modelos para mezclas de vapores inflamables

- **Modelo de Le Chatelier:**
 - **Ecuación:**

$$L.I.I._{MEZCLA} = \frac{1}{\sum (Y_{i,comb} / L.I.I.i)}$$



Donde:

$Y_{i, \text{comb}}$: la fracción mol de cada uno de los componentes de la mezcla.

$L.I.I._i$: es el límite inferior de inflamabilidad de cada uno de los componentes de la mezcla.

Evaluación de daños provocados por Nubes Explosivas

El modelo de evaluación de daños provocados por la explosión de una nube de gas o vapor inflamable involucra el cálculo para determinar un potencial explosivo aproximado de sustancias empleadas en la industria. Dentro de las sustancias que se contemplan en el modelo como factibles de formar nubes explosivas se tienen:

- Gases contenidos a una presión de 500 psi o más.
- Gases mantenidos en estado líquido por efecto de alta presión.
- Gases mantenidos en estado líquido por efecto de baja temperatura.
- Líquidos combustibles o inflamables mantenidos a una temperatura superior a la de su punto de ebullición y que se encuentran en estado líquido por efecto de presión (se excluyen las sustancias cuya viscosidad sea mayor a 1×10^6 centipoises o que posean puntos de fusión mayores a 100°C).

Existen una serie de suposiciones inherentes al modelo que le permiten efectuar las estimaciones y predicciones de daños provocados por la explosión de la nube, destacando las siguientes:

- La fuga de material (almacenado o en el proceso) es instantánea, excluyéndose escapes paulatinos de gas a menos que se trate de fugas en tuberías de gran capacidad.
- El material fugado se vaporiza en forma instantánea formándose inmediatamente la nube; la vaporización y formación de la nube se efectúa de acuerdo con las propiedades termodinámicas del gas o líquido antes de producirse la fuga.
- Se asume una nube de forma cilíndrica cuya altura corresponde a su eje vertical. Se supone que la nube cilíndrica no es distorsionada por el viento ni por estructuras o edificios cercanos.
- La composición de la nube es uniforme y su concentración corresponde a la media aritmética de los límites superior e inferior de explosividad del material.



- El valor del calor de combustión del material se transforma a un equivalente en peso de trinitrotolueno (TNT), el cual tiene un valor de 1 830 Btu /lb.
- La temperatura del aire ambiente se considera constante e igual a 21.1°C (70 °F).
- Se considera que una nube originada en el interior de un edificio, formará una nube de las mismas dimensiones que una originada en el exterior del mismo.

Una vez que se produce la explosión, se generan una serie de ondas expansivas circulares, de tal forma que las ondas de mayor presión están situadas formando una circunferencia cercana al centro de la nube y las de menor presión se sitúan en circunferencias de diámetros mayores. El objetivo del modelo es entonces determinar la magnitud de los diámetros asociados a la sobrepresión de las ondas y los daños producidos en instalaciones.

La metodología de funcionamiento del modelo involucra varios pasos:

1. Cálculo de la masa del material en el sistema.
2. Cálculo de la masa del material en la nube.
3. Cálculo del diámetro de la nube formada.
4. Cálculo de la energía desprendida por la explosión.
5. Determinación del diámetro de las ondas expansivas.
6. Determinación de los daños ocasionados.

Cálculo de la masa del material en el sistema. (Wg o WI)

Si el material en el proceso es un gas mantenido a 500 psi de presión o más, la masa del material se estima a partir de la ley de los gases:

$$W_g = \frac{P}{RT} MV_g \quad (1)$$

Donde:

W_g = Masa del gas en el proceso (lb)

V_g = Volumen del gas en el proceso (ft³) a condiciones normales (0 °C y 1 atm).



Se deberá tomar en cuenta su factor de compresibilidad.

M = Peso molecular del gas (lb/lb mol).

R = Constante de los gases (1.314 atm ft³ /lb mol °K).

P = Presión (atm).

T = Temperatura (°K).

Si el material en el proceso se encuentra en estado líquido, la masa del material se calcula con su volumen y densidad:

$$W_l = 8.34R_oV_l \quad (2)$$

Donde:

W_l = Masa del líquido en el proceso (lb).

R_o = Densidad del líquido en el proceso (g/mL) a temperatura del proceso (T_p).

V_l = Volumen del líquido en el proceso (gal).

Cálculo de peso del material en la nube

La masa del material en la nube se estima de acuerdo a las características del material en el proceso:

- Para un gas mantenido a 500 psi o más de presión, la masa del material en la nube se asume igual a la masa del material en el proceso:

$$W = W_g \quad (3)$$

Donde W está dado en libras.

- Para los gases licuados por efecto de presión o temperatura, al producirse la fuga se considera que todo el material pasa a la fase gaseosa:

$$W = W_l \quad (4)$$



- Para líquidos con un punto de ebullición inferior o igual a la temperatura ambiente (considerada de 21.1 °C) se asume que se produce una vaporización total del 100% del material en el proceso, de donde:

$$W = W1 \quad (5)$$

- Si el líquido posee un punto de ebullición superior a 21.1°C, la cantidad vaporizada se calcula con:

$$W = W1 \frac{C_p(T_p - T_{eb})}{\dot{U}H_v} \quad (6)$$

Donde:

T_p = temperatura del líquido en el proceso (°C).

T_{eb} = temperatura de ebullición del líquido (°C).

C_p = media geométrica de los calores específicos del líquido (cal/g°C) a diferentes temperaturas entre T_{eb} y T_p .

$\dot{U}H_v$ = calor de vaporización del líquido (cal/g) a la temperatura de ebullición T_{eb} .

Cálculo del diámetro de la nube formada

Como se mencionó anteriormente se asume que la nube es de forma cilíndrica, cuyo diámetro se calcula con la siguiente expresión:

$$D = 22.181 \left(\frac{W}{hMF} \right)^{1/2} \quad (7)$$

Donde:

D = Diámetro de la nube formada (ft).

h = altura de la nube formada (ft).

M = peso molecular del material.

W = masa del material en la nube (lb).



El parámetro F corresponde a la fracción de la nube representada por gas o vapor, si la nube en su totalidad se encuentra a una concentración explosiva media, F se determina con:

$$F = \frac{LIE + LSE}{2 * 100} \quad (8)$$

Donde:

LIE = Límite inferior de explosividad del material (%).

LSE = Límite superior de explosividad del material (%).

Cálculo de la energía desprendida por la explosión

Se asume que la energía desprendida por la explosión de la nube se expresa en su equivalente de toneladas de TNT.

La ecuación representativa es:

$$E_d = \frac{W \dot{U}_c E}{4.03 \times 10^6} \quad (9)$$

Donde:

E_d = energía generada expresada en peso de TNT, que produce una fuerza equivalente a la explosividad de la nube (Ton TNT).

Û_c = calor de combustión del material (Btu/lb), que para el TNT es de 4.03x10⁶ Btu/Ton.

E = factor de explosividad.

W = peso de material en la nube.

El factor E es adimensional y determina la fracción del calor de combustión que sirve para producir las ondas de sobrepresión. Para muchos materiales el valor de E se encuentra dentro del rango 0.01 a 0.1. Para las nubes explosivas aquí consideradas se emplean los valores:

E = 0.02 cuando el escenario se considera de DMP (Diámetro Máximo Probable)

E = 0.10 cuando el escenario se considera de DMC (Diámetro Máximo Catastrófico)

**Determinación del diámetro de las ondas expansivas**

Las ondas expansivas (o de sobrepresión) consideradas se expresan en unidades de presión y van desde 0.5 psi hasta 30 psi. La determinación de los diámetros de los círculos de sobrepresión se efectúa a través de funciones del tipo:

$$D_{oe} = z(E_d)^{1/3} \quad (10)$$

Donde:

D_{oe} = diámetro de la onda expansiva (ft)

E_d = energía desprendida por la explosión (ton TNT)

Z = distancia escalada para la sobrepresión considerada (ft/Ton), para el rango empleado en esta tesis se tiene que los valores de Z son^(6 y 15):

Z (ft/Ton.)	PRESIÓN (psig)
1291.011	0.5
8000.013	1.0
485.007	2.0

Tabla 2.12 Relación de distancia escalada y presión en una explosión ⁽¹⁵⁾.

Determinación de los daños ocasionados

A fin de determinar los daños ocasionados por la nube explosiva se emplea la información de los efectos de diversos valores de sobrepresión sobre instalaciones y equipos en refinerías, plantas químicas y personas reportados en la tabla de evaluación de daños por explosiones que se encuentra en el **Apéndice E** revisando el concepto de explosión. A estos daños se deben adicionar posibles incendios y explosiones subsecuentes (efecto dominó).



CAPÍTULO III
TRABAJO DE CAMPO





LA PLANTA REFORMADORA DE NAFTAS II⁽¹⁸⁾

3.1 INTRODUCCIÓN

Como parte del proceso de modernización de PEMEX-REFINACIÓN, se contrató al Instituto Francés del Petróleo (IFP) con el fin de efectuar la ingeniería básica del proyecto de modificaciones a la planta reformadora No. 2 de la refinería "MIGUEL HIDALGO" de Tula, Hidalgo. La Ingeniería de detalle y de construcción estuvo a cargo de la compañía Bufete Industrial.

Las modificaciones a la unidad existente tuvieron como finalidad: incrementar el factor de operación (corridas de mayor duración) y mejorar la calidad de los productos manteniendo rendimientos atractivos. Todo lo anterior, con una inversión mínima, un máximo ahorro de energía y cumpliendo con los requerimientos internacionales de protección al medio ambiente.

La Ingeniería desarrollada por el IFP incorpora al proceso semi-regenerativo existente (tecnología IMP), un reactor adicional con un **Sistema de Regeneración Continua (CCR/IFP)**. A esta combinación de tecnologías se le conoce como "Proceso Dual-forming".

Si se opera bajo las condiciones especificadas por el IFP, se deben obtener los siguientes resultados:

Capacidad:	30.0 MBPD
Rendimiento del reformado:	81% peso de la carga
Rendimiento de hidrógeno puro:	2.05% peso de la carga (mínimo)
RONC en el reformado:	98
MONC en el reformado:	88
Duración del ciclo:	24 meses (mínimo).

3.2 DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE LA UNIDAD CCR (U-200)

El propósito del sistema de regeneración es regenerar automáticamente el catalizador del quinto reactor de reformación DC-505 durante la operación normal de la Reformadora. Lo anterior permite la operación continua y a alta severidad en este reactor. La regeneración se hace mediante control computarizado.



La capacidad del sistema de regeneración es de 4000 Kg de catalizador gastado por día en operación normal y de 5760 Kg/día como máximo. La regeneración, en realidad se efectúa por lotes en el regenerador FA-202 que tiene dos camas. La cantidad de catalizador que se carga en el regenerador es de 2000 Kg (1000 Kg por cada cama).

La regeneración se lleva a cabo por lotes utilizando el procedimiento convencional de regeneración.

Se utiliza gas inerte para calentar y como medio de transporte de reactivos en el circuito de regeneración. Un compresor asegura la circulación de este gas. El gas inerte está constituido principalmente por nitrógeno (N_2) y bióxido de carbono (CO_2).

Para controlar la temperatura del gas en la entrada de cada una de las camas del regenerador, se utiliza un calentador eléctrico. Un cambiador inter-regenerador es utilizado para eliminar calor de la primera cama durante la fase de quemado.

Los cambiadores de calor de entrada y salida, el enfriador soloaire y la torre de lavado permiten al compresor de gas de regeneración operar con una baja temperatura de succión. Estos equipos están diseñados para optimizar la inversión en el circuito de regeneración y en los servicios auxiliares.

Para eliminar problemas de corrosión debidos a los compuestos de cloro presentes en el efluente de regeneración, se dispone de una sección de lavado del gas así como de una sección de secado para mantener un bajo contenido de humedad durante el quemado y particularmente durante la fase de calcinación, la cual debe efectuarse con gas seco.

El gas efluente de la regeneración es lavado mediante el contacto con solución cáustica al 3% en peso, en la línea localizada después del enfriador soloaire y el lavado final se hace con agua en la torre de lavado. En cada lavado se utilizan bombas para la sosa y para el agua. La inyección de sosa fresca se ajusta a fin de minimizar su consumo.

El gas que sale de la torre de lavado se manda a secar en las torres cargadas con material desecante. Una de las torres se utiliza para secar el gas mientras la otra se está regenerando.



El cambio se hace automáticamente cuando se termina la regeneración en una torre.

El regenerador se aísla del sistema de reacción mediante un juego de válvulas entre el tambor superior de balance y la torre regeneradora más otro juego de válvulas entre la torre y el tambor inferior de balance. Los dos juegos de válvulas son idénticos y realizan un sello doble:

- Un sello de gas inerte a una alta presión.
- Un sello conectado al sistema de desfogue.

Las válvulas son actuadas por aire y la presión del aire a los actuadores se controla mediante electroválvulas.

Cualquier pérdida sustancial del sello de gas inerte durante la regeneración es detectada inmediatamente por un switch de baja presión (PSL) y como resultado las válvulas del sistema de regeneración se van a una posición de seguridad.

Cualquier fuga de hidrógeno en el sello de baja presión hacia el desfogue se detecta mediante un switch de alta temperatura (TSH).

La computadora (MicroVax) revisa todos los pasos de la secuencia de regeneración y verifica que ningún paso pueda ser iniciado antes de que el paso precedente haya sido completado.

Un sistema doble (Hardware y Software) de interlocks independientes de la secuencia automática así como del control manual, previene cualquier disturbio.

Cualquier falla en la computadora, en el aire de instrumentos, en el sistema de gas inerte, o en el suministro de energía eléctrica, origina que las válvulas tomen una posición de seguridad.

El circuito de gas de regeneración está siempre bajo una atmósfera de gas inerte y es aislado del regenerador durante la transferencia del catalizador.

Se dispone de analizadores continuos que pueden detectar contenidos de oxígeno en el circuito de regeneración por debajo de 2000 ppm.



CIRCULACIÓN DE CATALIZADOR

El catalizador gastado sale por la parte inferior del quinto reactor de reformación DC-505 a través de los 12 tubos bajantes hacia el la tolva inferior FA-221. Este equipo está diseñado de tal forma que cada uno de los tubos bajantes cae a un comportamiento de igual tamaño que los demás, lográndose con esto una caída uniforme del nivel en el reactor. Además, en el FA-221 se tiene una inyección de hidrógeno de purga con el fin de eliminarle al catalizador gastado los hidrocarburos arrastrados.

El hidrógeno con los hidrocarburos fluye de manera ascendente a través de los tubos bajantes hacia el reactor. La inyección de hidrógeno de purga debe ajustarse de modo que la presión diferencial entre la entrada de hidrógeno y uno de los tubos bajantes (PDI-204) sea de unos 20 Kg/cm². Si esta presión diferencial cae a cero significa que uno de los tubos bajantes está vacío, indicando con ello que empieza a haber obstrucción al paso de catalizador en alguna de las salidas del reactor. El en S.C.D. se cuenta con una alarma por pérdida de esta presión diferencial (PDAL-204).

De la Tolva Inferior del Reactor FA-221, el catalizador pasa hacia el fluidizador de catalizador gastado FA-231. Este equipo se encarga de transferir el catalizador gastado hacia el tambor superior de balance FA-201 con el fin de preparar un lote (2000 Kg de catalizador) para la regeneración.

El levantamiento de catalizador es controlado por la computadora. El gas que se utiliza para el levantamiento es hidrógeno. Se tienen dos entradas de gas (hidrógeno) al fluidizador FA-231. El flujo total de hidrógeno de levantamiento siempre es constante. El hidrógeno primario de levantamiento entra por la parte inferior del FA-231 a través de la FV-212 mientras que el hidrógeno secundario de levantamiento entra por un costado hacia una cavidad existente en el fluidizador a través de la válvula PDV-212. El gas primario de levantamiento es el que inicia la operación de levantamiento. El gas secundario de levantamiento es el que gobierna el flujo de catalizador. Dentro de un rango apropiado de operación, la tasa de circulación de catalizador es proporcional a la cantidad de hidrógeno secundario. Cuando el hidrógeno secundario es suspendido, no puede haber movimiento de catalizador en el fluidizador.

El hidrógeno secundario de levantamiento está a control de la presión diferencial entre la



entrada de gas secundario al FA-231 y el tambor superior de balance FA-201.

El flujo de catalizador en todo el sistema de regeneración se controla ajustando el punto de ajuste del PDIC-212. El rango de presión diferencial recomendado es de 0.150 a 0.250 Kg/cm².

El FIC-212 mantiene siempre un flujo constante de hidrógeno al FA-231 ya que la medición se hace antes de la división de los gases primario y secundario. Por lo tanto cuando cierra la PDV-212 ajusta la FV-212 para que todo el caudal pase a través de esta válvula.

En el tambor superior de balance FA-201 se le separan los finos al catalizador por medio de un gas que es hidrógeno. Este gas hidrógeno se usa para facilitar el transporte de catalizador y va a control de flujo mediante el FIC-203. Como una referencia, el flujo de hidrógeno debe ser de 2 a 3 veces el flujo de gas de levantamiento utilizado en el fluidizador FA-231 (FIC-212).

Los finos de catalizador salen por la parte superior del FA-201 junto con el hidrógeno de levantamiento y el hidrógeno facilitador del transporte de catalizador y se envían hacia el colector de polvos FG-201 donde son retenidos para posteriormente ser recuperados. El hidrógeno (sin finos) que sale del FG-201 retorna a U-500 (al FA-501) a control de la presión diferencial que se mantiene entre la tolva Inferior del reactor FA-221 y el fluidizador de catalizador gastado FA-231. Esta presión diferencial se controla mediante el PDIC-215 en alrededor de 0.1 Kg/cm².

En el colector de polvos FG-201 se tiene indicación de la presión diferencial a través del medio filtrante que normalmente debe estar en unos 20 g/cm² cuando el equipo está limpio.

Cuando esta presión diferencial incrementa a unos 80-100 g/cm², se recomienda efectuar un soplado para limpiar el medio filtrante.

Periódicamente se efectuará una recolección de los polvos en el FG-201. Para hacer este movimiento, el equipo debe by-pasarse, para inertizarlo y luego retirar los polvos. Por lo tanto, para no ocasionar disturbios, lo anterior debe hacerse en un momento en que no haya levantamiento de catalizador.

Cuando se completa un lote de catalizador para el regenerador conforme lo indica el nivel del FA-201 (LI-201 y LSH-201), y cuando la secuencia de regeneración llega al paso de CARGA, el



catalizador es transferido desde el FA-201 hacia el FA-202. El paso del catalizador es a través de las válvulas YV-201, YV-202, YV-203 y YV-204.

En el regenerador FA-202, una vez que se ha realizado la CARGA del catalizador, la secuencia de regeneración controlada por la computadora realiza los pasos de PURGA, CONEXIÓN, QUEMADO, OXI-CLORACIÓN, CALCINACIÓN, ENFRIAMIENTO-PURGA, AISLAMIENTO y DESCARGA.

Una vez que se termina la regeneración, al llegar la secuencia al paso de DESCARGA, el catalizador calcinado es transferido al tambor inferior de balance FA-203 a través de las válvulas YV-207, YV-208, YV-209, YV-210 y YV-252.

En la parte inferior del FA-203 se lleva a cabo la reducción de los metales del catalizador mediante un flujo de hidrógeno a 450 °C procedente del catalizador de reducción BA-202.

El control de la temperatura de salida del BA-202 se hace mediante el TIC-236 y el del flujo de hidrógeno de reducción se hace mediante el FIC-208.

El hidrógeno (junto con el agua sub-producto de la reducción) sale del FA-203 y se manda a la U-500 a control de la presión diferencial entre el FA-203 y el fluidizador de catalizador regenerado FA-232 con el PDIC-201, después de ceder calor en los intercambiadores EA-204A/E al hidrógeno que llega a la U-200.

Es importante cuidar que la temperatura de la parte superior de la zona de reducción del FA-203 (TI-234) no exceda de 480 °C ya que los valores superiores indican que el hidrógeno de reducción trae demasiadas impurezas (hidrocarburos) y se están presentando una gran cantidad de reacciones de hidrogenación.

El catalizador regenerado en estado reducido pasa del FA-203 hacia el fluidizador de catalizador regenerado FA-232. Este equipo se encarga de transferirlo hacia la tolva superior del reactor FA-211. El gas que se utiliza para el levantamiento es hidrógeno. El hidrógeno primario de levantamiento pasa a través de la FV-211 mediante el PDIC-211. El PDIC-211 actúa como esclavo en la cascada que hace con el LIC-211 para mantener constante el nivel en la tolva superior del reactor FA-211.



En el FA-211 se tiene el LSL-211 que actúa cuando se presenta un muy bajo nivel en este recipiente mandando a detener la fluidización de catalizador gastado. Este instrumento manda a cerrar por solenoide el hidrógeno secundario de levantamiento (PDV-212) del fluidizador FA-231. Con esto se asegura tener siempre lleno de catalizador el reactor DC-505.

Del FA-211, el catalizador fluye hacia el quinto reactor de reformación DC-505 a través de 12 tubos bajantes. En el reactor vuelve a promover las reacciones de reformación.

SISTEMA DE HIDRÓGENO

El hidrógeno que se utiliza en el sistema de regeneración continua (U-200) proviene de la reformadora de naftas (U-500). En operación normal, se utiliza hidrógeno del FA-503 pero se tiene una línea de arranque que sale de la descarga del GB-501 para cuando todavía no se mete a operar el GB-502/R.

En U-200, primeramente se le reduce la presión al hidrógeno mediante el PIC-221 y posteriormente pasa a recibir calor en el lado coraza de los EA-204A/E de una parte de la corriente de hidrógeno que retorna la U-500.

Antes de reducir la presión del hidrógeno en la PV-221, se tiene un disparo de 1" de diámetro hacia el sistema de retrolimpieza del colector de polvos FG-201.

De la salida de los EA-204A/E, el hidrógeno se dirige hacia cada uno de los servicios para los que se utiliza:

Hidrógeno al FA-232 (Levante A)

Una parte se va como gas de levantamiento hacia al fluidizador de catalizador regenerado FA-232. El flujo de hidrógeno a este equipo se controla mediante el FIC-211 que actúa sobre la válvula FV-211 (gas primario de levantamiento). El gas secundario de levantamiento pasa a través de la válvula PDV-211.

Con este hidrógeno, el catalizador, regenerado es transportado hacia la tolva superior del reactor FA-211. El hidrógeno se va hacia el reactor DC-505.



Hidrógeno al FA-231 (Levante B)

Otra parte se va como gas de levantamiento hacia el fluidizador de catalizador gastado FA-231. El flujo de hidrógeno a este equipo se controla mediante el FIC-212 que actúa sobre la válvula FV-212 (gas primario de levantamiento). El gas secundario de levantamiento pasa a través de la válvula PDV-212.

Con este hidrógeno, el catalizador gastado es transportado hacia el tambor superior de balance FA-201 y junto con el gas hidrógeno y los finos de catalizador, sale por la parte superior de este equipo para mandarse hacia el colector de polvos FG-201. En el FG-201 se retienen los finos de catalizador y el hidrógeno se manda hacia la U-500 a control de la presión diferencial entre FA-221 y FA-231 mediante el PDIC-215.

Hidrógeno al FA-221

Otra parte del hidrógeno se va como gas de purga a la tolva inferior del reactor FA-221. Manualmente se ajusta para mantener una presión diferencial de unos 20 Kg/cm² entre el FA-221 y la parte inferior del reactor DC-505. Ésta presión diferencial se observa en el PDI-204. El propósito de esta purga es eliminarle al catalizador gastado, los hidrocarburos arrastrados.

El hidrógeno de purga junto con los hidrocarburos que se le eliminan al catalizador gastado, se van hacia el reactor DC-505 a través de los 12 tubos bajantes del reactor hacia el FA-221 (a contracorriente del flujo de catalizador).

Hidrógeno al FA-211

Otra parte del hidrógeno se va como gas de purga (durante los arranques, cuando todavía no se tiene gas de levantamiento al Fluidizador FA-232) a la tolva superior del reactor FA-211. En operación normal se puede tener un muy pequeño flujo por esta línea para evitar que se tape la toma de baja presión del PDT-211.

Este hidrógeno se va hacia el reactor DC-505 a través de los 12 tubos bajantes junto con el catalizador regenerado que regresa a este equipo.



Hidrógeno al FA-203

Otra parte del hidrógeno se va como gas para la reducción del catalizador. A esta corriente se le controla el flujo mediante el FIC-208, luego pasa por el calentador de reducción BA-202 y finalmente entra por la parte inferior de la zona de reducción del FA-203. Para proteger los elementos térmicos del BA-202, en caso de que haya bajo flujo de hidrógeno a este calentador, el FSSL-216 manda señal hacia la computadora y dispara el calentador. Este calentador además está protegido mediante unos TSH que actúan al detectar alta temperatura en los elementos térmicos (490 °C).

El hidrógeno sale por la parte superior de la zona de reducción del FA-203 junto con el agua en forma de vapor producto de la reacción de reducción, pasa a los intercambiadores EA-204 lado tubos a cederle calor al hidrógeno que llega a la U-200 y regresa a la reformadora U-500 a control de la presión diferencial entre el FA-203 y el FA-232 mediante el PDIC-201. Este flujo de hidrógeno (de la PDV-201) se une con el de la válvula PDV-215 y juntos regresan a la U-500 y al separador FA-501.

Hidrógeno al FA-201

Otra parte del hidrógeno se va como gas facilitador del transporte de catalizador al FA-201 a control de flujo mediante el FIC-203. Este sirve para separar los finos al catalizador. Este hidrógeno sale del FA-201 junto con el gas de levantamiento y los finos de catalizador y se van hacia el colector de polvos FG-201.

CIRCUITO DEL GAS DE REGENERACIÓN

El gas de regeneración procedente del calentador de regeneración BA-201 pasa a través de los tubos del cambiador de calor inter-etapas EA-202, donde intercambia calor con el efluente de la primera cama del regenerador FA-202, pasando posteriormente por las válvulas YV-218, YV-219 y finalmente entra a la primera cama del regenerador FA-202.

Para conocer la presión en el circuito de regeneración, corriente abajo del EA-202 lado tubos se tiene el PI-204.



Con la finalidad de tener un buen aislamiento entre el circuito de regeneración y el regenerador FA-202, entre las válvulas YV-218 y YV-219, se cuenta con el venteo a la atmósfera de la válvula YV-220.

Durante el paso de CONEXIÓN entre el circuito de regeneración y el regenerador FA-202, se necesita equilibrar las presiones entre los dos sistemas. Para tal efecto se dispone de una línea igualadora con la válvula YV-217 que by-passea a la válvula YV-218.

Corriente abajo de la YV-219, se tiene la inyección de dicloroetano de la bomba GA-205 a través de las válvulas YV-243A y YV-243B.

Para conocer la presión del regenerador FA-202 se cuenta con el PI-202, instalado en la línea de gas de regeneración que entra a la primera cama de catalizador.

Corriente arriba de la válvula YV-218, se tiene el disparo hacia la válvula YV-226 que by-passea el gas del circuito de regeneración del regenerador FA-202 durante los pasos de CARGA y DESCARGA de la secuencia de regeneración.

En la línea de entrada del gas de regeneración a la primera cama de catalizador del FA-202, se tiene los arreglos necesarios para: meter nitrógeno al regenerador (YV-216) durante el paso de AISLAMIENTO, meter gas inerte al regenerador (YV-213) durante la PURGA del catalizador, equilibrar presiones entre el regenerador FA-202 y el tanque superior de balance FA-201 (YV-214) durante el paso de CARGA, equilibrar presiones entre el Regenerador FA-202 y el Tanque Inferior de Balance FA-203 (YV-215) durante el paso de DESCARGA.

El gas de regeneración entra por la parte superior del regenerador FA-202 para llegar a la primera cama de catalizador. El flujo a través del catalizador en el regenerador es en forma axial. En la primera cama de catalizador se tienen los siguientes instrumentos con el propósito de monitorear de cerca las temperaturas del catalizador en las diferentes etapas de la regeneración: TI-211, TI-212, TI-213, TI-214, TAHH-212 y TAHH-214.

El gas efluente de la primera cama abandona al regenerador para intercambiar calor en el EA-202 con el gas que va hacia la primera cama. Al salir del regenerador se tienen el TI-226, el TAHH-215 y el indicador local PI-206.



Antes de que al gas efluente de la primera cama del regenerador entre al lado coraza del EA-202, se tiene la inyección inferior de aire a control de flujo mediante el FIC-202 y a través de las válvulas de bloqueo YV-231, YV-232 que cuentan con el venteo intermedio YV-233, el cual sirve para aislar el sistema de aire del circuito de regeneración.

La computadora mueve el punto de ajuste de los controladores de flujo de las inyecciones de aire como lo requiera a fin de mantener las concentraciones de oxígeno requeridas según la etapa de la secuencia de regeneración en que se encuentre el regenerador.

En la salida del lado coraza del intercambiador EA-202, se tiene el indicador de temperatura TI-203. Más adelante, el gas de regeneración tiene la inyección de dicloroetano a la segunda cama de catalizador con la bomba GA-206 y a través de las válvulas YV-244A y YV-244B.

Corriente abajo del TI-203, se tiene la toma de muestra al analizador de oxígeno AE-221. Esta toma de muestra cuenta con la válvula YV-241, la cual se mantiene cerrada durante los pasos de la secuencia en que el regenerador FA-202 tiene atmósfera de hidrógeno (CARGA y DESCARGA).

El gas de regeneración entra por la parte intermedia del regenerador FA-202 para llegar a la segunda cama de catalizador. En la segunda cama se tienen los siguientes instrumentos con el propósito de monitorear de cerca las temperaturas del catalizador en las diferentes etapas de la regeneración: TI-221, TI-222, TI-223, TI-224, TAHH-222, TAHH-224.

El gas efluente de la segunda cama de catalizador sale por la parte inferior del regenerador FA-202. En esta salida se tienen los siguientes instrumentos: PI-201 (indicador local de presión), TI-227, TAHH-225.

En la salida de gas de la segunda cama del regenerador, se tiene una línea con la válvula YV-214 que se incorpora a la línea de gas inerte de sello a la válvula YV-203. Esta línea se utiliza durante el paso de CARGA para equilibrar las presiones entre el regenerador FA-202 y el tanque superior de balance FA-201. La válvula YV-214 también se utiliza después de cargar el regenerador para depresionarlo hacia el desfogue a través de las válvulas YV-203 y YV-205.

El efluente de la 2ª cama de regeneración pasa a través de las válvulas de bloqueo YV-221, YV-222 que tienen el venteo intermedio con la válvula YV-223 hacia la atmósfera. Este arreglo



permite aislar el circuito del gas de regeneración del FA-202, cuando la secuencia así lo requiere.

Después de la YV-222, el gas de regeneración se va hacia el lado tubos del EA-201 donde intercambia calor con la corriente de gas que va hacia el calentador BA-201. Antes de entrar al EA-201, se tiene instalado el indicador local de temperatura TW-207.

Del EA-201, el gas de regeneración se va hacia el enfriador soloaire EC-201. Antes de entrar a este equipo, se tiene el indicador local de temperatura TW-210. Se tiene el control de temperatura de salida del EC-201 mediante TIC-219 que actúa sobre el ángulo de las aspas del ventilador. El TIC-219 debe ajustarse para controlar 80 °C.

El gas de regeneración recibe una corriente de sosa al 3% peso para lavado, entran al mezclador estático Z-205 y después llegan al separador sosa/gas que se encuentra en la torre de lavado FA-205. Del separador sosa/gas, el gas sale por la parte superior hacia la zona de lavado con agua (5 platos) y finalmente sale por el domo de FA-205 hacia el paquete de secado.

En el domo de la torre de lavado FA-205, se tiene el control de presión PIC-220 que actúa en rango dividido sobre las válvulas PV-220A (venteo a la atmósfera para depresionar) y PV-220B (inyección de gas inerte a la entrada del paquete de secado, cuando se requiere presionar).

El control de la presión en este punto es importante puesto que influye en todo el sistema de regeneración. El punto de ajuste de diseño para el PIC-220 es de 11 Kg/cm².

Antes de llegar al paquete de secado Z-204, se tiene la toma de muestra hacia al analizador de oxígeno AE-222, luego se tiene la inyección de gas inerte con la PV-220B o la YV-238. En el paquete de secado Z-204, el gas de regeneración primero pasa por el pre-filtro Z-204A, luego es dirigido hacia una de las columnas secadoras (Z-204C1 o C2), luego pasa a través del post-filtro Z-204F y se va hacia la succión de los compresores GB-201/R. La humedad en el gas a la salida del paquete de secado Z-204 debe estar entre 30 y 50 ppm.

Mientras una de las columnas secadoras está "secando" gas, la otra se está regenerando. El flujo en la columna que está secando es descendente mientras que en la columna que se está regenerando es ascendente.



La regeneración de las columnas consta de una etapa de calentamiento que dura aproximadamente 3 horas y una etapa de enfriamiento que dura aproximadamente 1 hora.

Durante el calentamiento, el flujo que se establece es el siguiente: una parte del gas húmedo (aproximadamente el 40% del caudal del gas que entra al paquete de secado) controlado con FIC-280, se hace pasar por el calentador con vapor de media Z-204B y luego se dirige hacia la columna que se está regenerando donde al salir por la parte superior alcanza temperaturas del orden de 180 a 210 °C al término de la etapa de calentamiento, pero mientras está eliminando humedad, la temperatura se estabiliza en unos 80 °C. El gas que sale de la columna, pasa al enfriador Z-204D, de aquí al tanque separador Z-204E donde se le elimina la humedad para luego incorporarse a la corriente que va hacia la columna que en ese momento está secando.

Durante el enfriamiento, el flujo que se establece a través de la columna que se está regenerando es el siguiente:

El gas que se utiliza para la regeneración de la columna se dirige hacia ésta y pasa a través de ella en flujo descendente, luego pasa al enfriador Z-204D, de aquí se va al separador Z-204E donde se le elimina la humedad para luego incorporarse a la corriente que va hacia la columna que en ese momento está secando.

El paquete de secado Z-204 cuenta con un programador que automáticamente hace los cambios de la columna secadora. Para evaluar el funcionamiento de éste, se tienen instaladas tomas de muestra para analizar la humedad en el gas de entrada y de salida.

De la línea de gas de regeneración que va hacia los GB-201/R, se tiene un disparo hacia los compresores de gas inerte GB-203/R, el cual cuenta con las válvulas de bloqueo YV-234, YV-235, con el venteo intermedio a la atmósfera YV-236. Durante la etapa de QUEMADO de la secuencia de regeneración, mientras no hay oxígeno en el efluente del Regenerador (lo cual se detecta en el AE-222), los compresores GB-203/R pueden tomar este gas para comprimirlo y enviarlo hacia el FA-208.

En la succión de los GB-201/R, se tiene una línea que viene de los analizadores de oxígeno. Esta línea es con el propósito de mantener un muestreo cerrado y no se tire nada del gas que se analiza. Luego se tiene la inyección superior de aire a control de flujo mediante el FIC-201 y



a través de las válvulas de bloqueo YV-228, YV-229, las cuales cuentan con el venteo intermedio a la atmósfera YV-230 para aislar el sistema de aire del circuito de regeneración cuando así se requiera.

Los compresores GB-201/R aumentan la presión y temperatura del gas de regeneración hasta 15.3 Kg/cm² y 82.5 °C.

En la línea de descarga de los compresores GB-201/R se tiene una inyección de agua con la bomba GA-204 y a través de la válvula YV-240. Esta inyección de agua se utiliza durante la etapa de OXICLORACIÓN con el fin de tener la humedad necesaria a fin de establecer el nivel requerido de cloruros en el catalizador.

Después de la inyección de agua a través de la YV-242, se tiene la toma de muestra al analizador de oxígeno AE-211, el indicador de temperatura TI-239, el indicador de presión PI-227 y el indicador de flujo FI-207.

El gas de regeneración se va hacia la válvula de tres vías TV-201, de la cual una parte se va hacia el lado coraza del EA-201 donde recibe calor del efluente de la segunda cama del regenerador y luego se va hacia el calentador de regeneración BA-201. La temperatura de salida del BA-201 se controla mediante el TIC-231, el cual actúa sobre el control de potencia del calentador.

El calentador BA-201 está protegido por bajo flujo mediante el FSL-215 y por alta temperatura en los elementos térmicos mediante unos TSH que actúan a 665 °C. Estas protecciones disparan el calentador para evitarle daños.

La otra parte de la TV-201 se incorpora a la corriente que sale del calentador BA-201. El controlador de la TV-201 es el TIC-201, el cual controla la temperatura del gas que va hacia el EA-202. El punto de ajuste del TIC-201 varía dependiendo del momento de la secuencia de regeneración y está bajo el control de la computadora.

SISTEMA DE AIRE DE REGENERACIÓN

El aire que se utiliza para la regeneración del catalizador durante las etapas de QUEMADO,



OXICLORACIÓN y CALCINACIÓN es succionado de la atmósfera por los compresores GB-202/R.

Estos compresores son reciprocantes de tres pasos con inter.-enfriamiento y descargan el aire hacia el enfriador con agua EA-208 y luego hacia el tanque de balance FA-206. Las condiciones de operación de diseño de este recipiente son: 40 °C y 14.8Kg/cm².

La presión del FA-206 se controla mediante el PIC-211 que ventea a la atmósfera el excedente de aire. La humedad que se acumula en el FA-206 se drena a través de la válvula LV-206.

Del FA-206, el aire se dirige hacia las dos inyecciones de aire que se tienen en el circuito de gas de regeneración.

La inyección superior a control de flujo mediante el FIC-201 y a través de las válvulas de bloqueo YV-228, YV-229, con el venteo intermedio de la YV-230. Este aire entra en la línea de succión del compresor de gas de regeneración GB-201/R.

La inyección inferior a control de flujo mediante el FIC-202 y a través de las válvulas de bloqueo YV-231, YV-232, con el venteo intermedio de la YV-233. Este aire entra a la línea que sale de la primera cama del regenerador y que va hacia el lado coraza del EA-202.

Durante el paso de CONEXIÓN en la secuencia de regeneración, la computadora solicita que se ponga a operar uno de los compresores GB-202/R o que verifique si realmente está operando.

SITEMA DE GAS INERTE

El gas inerte que se utiliza en el sistema **CCR**, está constituido principalmente por nitrógeno y bióxido de carbono. Este gas se toma del circuito de regeneración durante la etapa de QUEMADO de la secuencia de regeneración. En este caso, los compresores de gas inerte GB-203/R succionan a través de las válvulas YV-234, YV-235 del circuito de gas de regeneración después del paquete de secado Z-204.

Los compresores de gas inerte GB-203/R son del tipo reciprocante de dos pasos. La descarga de estos compresores va hacia el enfriador EA-209 y luego hacia el tanque de gas inerte FA-208. Las condiciones de operación de diseño del FA-208 son: 40 °C y 60Kg/cm².



En el FA-208 el gas inerte se almacena a alta presión y de aquí se distribuye hacia los diferentes puntos del sistema de regeneración donde se utiliza y en el momento que la secuencia de regeneración lo requiera. Se tiene el PIC-243 para mantener una presión de 23.5 Kg/cm² corriente debajo de la PV-243 de donde se distribuye a todo el sistema.

Para que el GB-203/R pueda alinearse con las YV-234 y YV-235 es necesario que la concentración de oxígeno en el AE-222 (ubicado en la entrada al paquete de secado Z-204) sea menor de 0.2%. En caso de que no se cumpla esa condición y se requiera presionar el FA-208, se puede utilizar la succión alterna que viene del cabezal de nitrógeno fresco y que tiene las válvulas YV-255, YV-256, con el venteo intermedio de la YV-257.

En operación normal, la computadora Microvax controla la secuencia de almacenamiento de gas inerte (STORIN) succionado del circuito de gas de regeneración. Cuando el contenido de oxígeno en el AE-222 es mayor de 0.2%, se detiene la secuencia.

La presión del FA-208 se indica en el PI-210, este instrumento le avisa a la computadora el momento en que requiere que se represione o en que se detenga esta operación por llegar a su valor máximo de presión.

El gas inerte después de la PV-243 se divide en dos cabezales:

Uno de ellos pasa por la YV-239 y luego se va hacia la entrada del paquete de secado Z-204 a través de la PV-220B o de la YV-238.

La PV-220B sirve para presionar el sistema y abre cuando se lo ordena el controlador de rango dividido PIC-220 que controla la presión de la torre de lavado FA-205.

La válvula YV-238 se utiliza para inertizar el sistema después de la CALCINACIÓN, en la etapa de ENFRIAMIENTO/PURGA de la secuencia de regeneración.

El otro cabezal de gas inerte que sale de la PV-243 se va hacia el regenerador a las válvulas: YV-213 que se utiliza en la PURGA del catalizador, YV-206 que se utiliza como gas de sello de la línea de carga del regenerador, YV-211 que se utiliza como gas de sello de la línea de descarga del regenerador.



SECUENCIA DE LA REGENERACIÓN EN U-200

La regeneración del catalizador del quinto reactor DC-505 se lleva a cabo en el regenerador FA-202 y en el tambor inferior de balance FA-203. La secuencia de la regeneración se lleva a cabo bajo las órdenes y supervisión del sistema de control secuencial (SCS), el cual es un paquete de software configurado en la computadora Microvax, que fue desarrollado por el IFP. La secuencia de regeneración puede monitorearse tanto en la consola de operación de la Microvax o en las estaciones universales del S.C.D.

Los pasos o etapas de la secuencia de regeneración son los siguientes:

- I. CARGA (LOAD). Se establece un equilibrio de presiones entre el FA-201 y el regenerador y se transfiere un lote de catalizador gastado.
- II. PURGA (PURGE). Se purgan el hidrógeno y los hidrocarburos contenidos en el catalizador mediante gas inerte.
- III. CONEXIÓN (CONNECT). Se efectúa la conexión del regenerador al circuito de gas de regeneración. Así como el calentamiento del catalizador.
- IV. QUEMADO (BURNING). Se lleva a cabo el quemado del coque existente en el catalizador. En esta etapa, se aglutinan los metales en el catalizador.
- V. OXICLORACIÓN (CALCIN). Se efectúa la calcinación del catalizador con un gas rico en oxígeno y seco para eliminarle la humedad, con lo que consigue fijar los metales en el soporte.
- VI. ENFRIAMIENTO (COOLING). Se enfría el catalizador y se purga el oxígeno contenido en el gas de regeneración.
- VII. AISLAMIENTO (ISOL). Se aísla el regenerador del circuito de regeneración.
- VIII. DESCARGA (UNLOAD). Se equilibran las presiones entre el Regenerador y el FA-203 para luego descargarle un lote de catalizador "calcinado". En el FA-203 se lleva a cabo la REDUCCIÓN con lo cual queda completamente regenerado el catalizador y listo para ser transferido al reactor.

A continuación se hace una descripción de la secuencia de regeneración, considerando los principales movimientos de válvulas y condiciones que se establecen en cada una de las etapas. Para mayor información referirse al listado de las instalaciones configuradas en la computadora y que se conocen como SECUENCIA PRINCIPAL (MAIN SEQUENCE).



CARGA, (LOAD).

La secuencia de regeneración del catalizador es un ciclo continuo. Para el presente análisis, se considera que el ciclo inicia cuando el regenerador FA-202 está vacío y se va a transferir un lote de catalizador gastado desde el tambor superior de balance FA-201.

El estado del sistema es el siguiente:

- El regenerador FA-202 está vacío y desconectado del circuito de regeneración.
- Las válvulas YV-218, YV-219, YV-221 y YV-222 están cerradas. Las válvulas YV-218, YV-219, YV-221 y YV-222 están cerradas. Las válvulas de venteo YV-220 y YV-223 están abiertas para asegurar un perfecto aislamiento entre el regenerador y el circuito de regeneración.
- El gas de regeneración circula a través de la válvula YV-226 by-passeando el regenerador.
- La computadora verifica que el nivel del tambor superior de balance FA-201 esté alto, conforme lo detecta el LSH-201 y lo confirma el (LI-201 95%).
Equilibrio de presiones entre FA-202 y FA-201.
- Las presiones del regenerador FA-202 y del tambor superior de balance FA-201 deben equilibrarse antes de transferir catalizador.
- La válvula YV-205 cierra para desconectar el sello hacia el desfogue y la YV-206 cierra para desconectar el sello de gas inerte de alta presión.
- Abren la válvulas YV-214, YV-202, YV-203 y con esto se iguala la presión del regenerador FA-202 con la presión del FA-201 a través de la válvula YV-201 que aunque está cerrada permite libremente el paso del gas.
- Después de un minuto, se verifica si la presión diferencial entre FA-201 y FA-202 es menor de 0.4Kg/cm^2 . Una vez que se cumple lo anterior, cierra la válvula YV-214.

Carga de catalizador

- Se abre la válvula YV-204. Con esto la línea de carga está libre y es posible abrir la válvula de sólidos AMRI YV-201. En este momento se inicia la transferencia de catalizador hacia el FA-202.
- Se espera a que el LI-201 $1 < \%$. Esto indica que el FA-201 ya está vacío.
- Después de 10 minutos, cierra la válvula YV-201.
- Cierran las válvulas YV-202 y YV-204.



Depresionamiento al desfogue

- Abren las válvulas YV-205, YV-214 y el regenerador FA-202 libera el hidrógeno y los hidrocarburos presentes mandándolos hacia el desfogue.
- Se hace una espera de 5 minutos y luego a que la presión del regenerador FA-202 (PI-202) sea menor de 3Kg/cm^2 , esto toma alrededor de 20 minutos.
- Cuando se cumple lo anterior, cierran las válvulas YV-214, YV-203 y YV-251.

Aislamiento con doble sello entre FA-201 y FA-202

- Abre la válvula YV-206.
- Se espera a que el PSL-244 vuelva a su estado NORMAL, con lo cual se asegura el aislamiento con doble sello entre FA-201 y FA-202.
- El regenerador FA-202 queda lleno de catalizador y en atmósfera de hidrógeno.
- Durante la etapa de CARGA, la secuencia de regeneración es monitoreada mediante el programa EMERG 1 (vigilante). Este programa lleva al sistema de regeneración a una condición segura en caso de detectar alguna situación riesgosa.

PURGA

- Se verifica que haya aislamiento con doble sello entre FA-201/FA-202 y entre FA-202/FA-203.
- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada.
- Como comparativos para etapas posteriores PIC-220, TC-231 y TIC-201 se mandan a P/AUTOMÁTICO. Y al TIC-201 se le manda un SP de $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1ª Purga

- Abre la válvula YV-213 para introducir gas inerte al regenerador FA-202.
- Se espera a que la presión en el PI-202 10 Kg/cm^2 .
- Cuando se cumple lo anterior, cierra la válvula YV-213.
- Después de 30 segundos, abren YV-224, YV-225 para depresionar el regenerador hacia la atmósfera.
- Se espera que transcurra 1 minuto y luego a que la presión en el PI-202 sea mayor de 1 Kg/cm^2 .



2ª Purga

- Abre la válvula YV-213 y entra gas inerte al regenerador.
- Después de 10 segundos, cierran YV-224 y YV-225.
- Se espera a que la presión en el PI-202 sea de 10Kg/cm².
- Cuando se cumple lo anterior, cierra la válvula YV-213.
- Después de 30 segundos, abren YV-224, YV-225 para depresionar el regenerador hacia la atmósfera.
- Se espera que transcurra 1 minuto y que la presión en el PI-202 sea menor de 1Kg/cm².

3ª Purga

- Abre la válvula YV-213 y entra gas inerte al regenerador.
- Después de 10 segundos, cierran YV-224 y YV-225.
- Se espera a que la presión en el PI-202 se de 10 Kg/cm².
- Cuando se cumple lo anterior, cierra la válvula YV-213.
- Después de 30 segundos, abren YV-224 y YV-225 para depresionar el regenerador hacia la atmósfera.
- Se espera que transcurra 1 minuto y que la presión en el PI-202 sea menor de 1 Kg/cm².
- La computadora manda un mensaje: FAVOR DE TOMAR MUESTRA DE CATALIZADOR ANTES DE LA REGENERACIÓN.
- Se detiene la secuencia. El operador del S.C.D debe reanudar la secuencia una vez que se tomaron las muestras de catalizador (gastado).
- Cierran las válvulas YV-224 y YV-225.
- Se ajusta el SETPOINT del TIC-201 a 420 °C en rampa.
- Abre la válvula YV-241, alineando la toma de muestra al analizador de oxígeno AE-221.
- Abre la válvula YV-213. Se espera a que la presión en el PI-202 sea de 12 Kg/cm² y luego cierra YV-213.
- El Regenerador FA-202 queda en atmósfera de gas inerte, lleno de catalizador y aislado del circuito de regeneración y manda la secuencia principal al programa CONNEC 1.

CONEXIÓN

- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada.
- Cierran las válvulas de venteo de las líneas de gas de regeneración YV-220 y YV-223.
- Se incrementa el setpoint del TIC-231 a 550 °C en rampa.



- Abren las válvulas YV-219 y YV-217 para equilibrar las presiones entre el regenerador y el circuito de gas de regeneración.
- Después de 6 minutos, abren las válvulas YV-218, YV-221, YV-222, conectando el regenerador con el circuito de regeneración.
- Se inicia la secuencia TEMP1 el cual se encarga de mantener las temperaturas del regenerador en un valor que se le indica mediante TSP 1(temperatura del setpoint 1. Para tal efecto TEMP ajusta el punto de ajuste del TIC-201 hasta un valor máximo definido como MAXIT 0. En este momento se le indica a TEMP lo siguiente: TSP 1 = 430 °C y MAXIT 0 = 550 °C.
- Cierra las válvulas de by-pass YV-217 y YV-226.
- Se espera 50 minutos que TE-214 llegue a 380 °C.
- La computadora manda un mensaje avisando del ARRANQUE DEL COMPRESOR DE AIRE GB-202/R.
- Se espera 20 minutos a que las temperaturas TE-211, TE-221, TE-224, y TE-214 sean mayores de 400 °C.
- El regenerador queda conectado al circuito de regeneración y en condiciones de empezar el QUEMADO de coque.
- Durante la etapa de CONEXIÓN, la secuencia de regeneración es monitoreada mediante el programa EMERG 2. Este programa lleva el sistema de regeneración a una condición segura en caso de detectar alguna situación riesgosa.

QUEMADO

- La computadora solicita al operador:
 - VERIFICAR QUE EL COMPRESOR DE AIRE GB-202/R ESTÉ OPERANDO.
 - VERIFICAR QUE EL SETPOINT DEL PIC-220 SEA MAYOR DE 8.5 Kg/cm².
 - VERIFICAR QUE EL CERO DE LOS ANALIZADORES SEA MAYOR DE 0.2% DE OXÍGENO.
- Se detiene la secuencia de regeneración y el operador del S.C.D. debe reanudarla.
- Los controladores FIC-201, FIC-202 y TIC-231 se ponen en P/AUTO.
- Se ajusta el setpoint del FIC-201 a 0.
- Se ajusta el setpoint del FIC-202 a 0.



- Se ajusta el setpoint del TIC-231 a 555 °C.
- Se espera hasta que los valores corregidos de las mediciones de los tres analizadores de oxígeno (ATN1, ATN2, AOUT2) son menores de 0.2%.
- Se espera hasta que la presión en el PI-202 es mayor de 10 Kg/cm².
- Se designan los valores TSP 1 = 430 °C y MAXIT 0 = 550 y se inicia la secuencia TEMP.
- La computadora verifica la posición de las válvulas y el estado de los PSL de las líneas de carga y descarga del regenerador FA-202, con el propósito de asegurar un correcto aislamiento de los recipientes que contienen atmósfera de hidrógeno.
- Se verifica que todas las válvulas involucradas estén en la posición correcta.
- Se verifica que todas las condiciones de operación en el sistema de regeneración sean las adecuadas.
- Cierran las válvulas de venteo de las líneas de inyección de aire YV-230 y YV-233.
- Abren las válvulas YV-228, YV-229, YV-231 y YV-232.
- Se ajusta el setpoint del FIC-201 a 100 en la rampa.
- Se ajusta el setpoint del FIC-202 a 100 en la rampa.
- Se hace una espera de 5 minutos.
- Si la concentración de oxígeno en la entrada de las camas 1 ó 2 (AE-211 o AE-221) es menor de 0.15%:
 - La computadora manda un mensaje: FAVOR DE VERIFICAR LOS ANALIZADORES DE OXÍGENO O LA INYECCIÓN DE AIRE.
 - Se ajustan los setpoints de FIC-201 y FIC-202 a -30.
 - Cierran YV-228, YV-229, YV-231, YV-232.
 - Se detiene la secuencia de regeneración.
- Si la concentración de oxígeno en AE-211 y AE-221 es mayor de 0.15%: Se ajusta setpoint 1 del O₂ y setpoint 2 del O₂ = 0.4 para el programa OXYGEN.
- Se designa TSP1 = 435 para la secuencia TEMP.
- Arranca OXIGEN 1 y STORIN 1 y se espera 15 minutos.
- Se reajusta setpoint 1 del O₂ y setpoint 2 del O₂ = 0.6 para el programa OXIGEN. 0.6%
- Se espera a que los valores corregidos de las concentraciones de oxígeno en la entrada a las camas 1 y 2 del Regenerador alcancen 0.6%.
- En esta secuencia, se ajustan los setpoint (SP) de FIC-201 y FIC-202 de tal forma que se mantengan los valores de concentración de oxígeno deseados en la entrada a las camas 1 y 2 del regenerador (0.6%) se establezca.



- Se espera a que el valor de la variable de FIC-201 y FIC-202 sea mayor de 70 asignando 10 horas de espera. Termina el quemado 1º. Si el valor es mayor de 70 en el SP quiere decir que no se ha acabado el quemado principal.
- Se designa TSP 1 = 460 para la secuencia TEMP.
- Se ajusta $O_2Sp\ 1 = 0.0$ y $O_2Sp\ 2 = 0.6$. Y se inicia la secuencia OXYGEN. Estas condiciones más severas permiten asegurar el quemado completo del coque remanente en el catalizador. Se da por terminado el quemado en la 1ª cama y continúa en la 2ª a mayor temperatura.
- Se espera que transcurran 20 minutos. Se cierra la YV-229 y 230 a la 1ª cama.
- Se espera a que el valor de la variable de FIC-202 sea mayor de 20.
- Se espera a que la concentración de oxígeno en la entrada a la cama 1 del regenerador sea mayor de 3% o 4%.
- Abren YV-245, YV-246 para reponer nivel en las cámaras de succión de las bombas de dicloroetano GA-205 y GA-206.
- Se espera a que transcurran 5 minutos y a que la concentración de oxígeno en la entrada a la primera cama del Regenerador sea mayor de 4%.
- Se ajusta $O_2Sp\ 1 = 4$
- Se ajusta el SP del TIC-231 a 585 °C.
- Cierran las válvulas YV-245 y YV-246. (Se llenarán cámaras).
- Se espera a que todas las temperaturas de las camas del Regenerador sean mayores a 480 °C.
- Se arrancan CHLOR 1 y CHLOR 2. Estos programas controlan la cantidad de dicloroetano que se inyecta a cada cama.
- Arranca GA-205 y abren las válvulas YV-243A, YV-243B.
- Arranca GA-206 y abren las válvulas YV-244A, YV-244B.
- Cuando CHLOR 1 41 indica que se inyectó la cantidad necesaria de dicloroetano a la primera cama, se manda parar GA-205 y a cerrar las válvulas YV-243 A, YV-243 B.
- Cuando CHLOR 2 42 indica que se inyectó la cantidad necesaria de dicloroetano a la segunda cama, se manda parar GA-206 y a cerrar las válvulas YV-244 A, YV-244 B.
- Cuando se termina de inyectar dicloroetano, se suspende también la inyección de agua, por lo que se cierra la válvula YV-240 y se para la bomba GA-204.
- La computadora manda a imprimir el mensaje: FAVOR DE VERIFICAR QUE LA BOMBA DE AGUA GA-204 SE HAYA DETENIDO. Se va la secuencia a CALCIN 1. 20 kilos de cloro en 2 toneladas de catalizador.



- Se designan TSP 1 = 480, MAXIT 0 = 580 para la secuencia TEMP.
- Se ajusta el SP del TIC-231 a 570 °C.
- Se espera a que transcurran 30 minutos.
- Se espera a que el valor de la variable FIC-202 sea menor de 20.
- Se espera a que DELTAT 2 sea menor de 5 (TI-223-TI-222).
- Se designa TSP 1 = 500 para la secuencia TEMP.
- Se espera a que TIS-211, 14, 21 y 24 sea 485 °C. Se espera a que el TI-223 500 y que el FC-202 5.
- Se ajusta el SP del TIC-231 a 580 °C.
- Termina quemado secundario.
- Durante toda la etapa del QUEMADO, la secuencia de regeneración es monitoreada mediante EMBURA o EMBURB. Estos dos programas llevan el sistema de regeneración a una condición segura en caso de detectar alguna situación riesgosa. Se va la secuencia a OXYCHL 1.

OXICLORACIÓN

- Se designan TSP 1 = 500, MAXIT 0 = 560 y se inicia la secuencia TEMP. Se ajustan O₂Sp 1 y O₂Sp 2 a 4.
- Checa que todo esté OK (posición de válvula).
- Se designa O₂Sp 1 = 4 para la secuencia OXYGEN con el propósito de conseguir que la concentración de oxígeno en la entrada a las primeras camas del regenerador suba a ese valor.
- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada. Cierra venteos de aire (230 y 233).
- Se verifica que todas las condiciones de operación en el sistema de regeneración sean las correctas.
- Se espera a que las temperaturas del regenerador TE-211 y TE-221 sean mayores de 480 °C. YV-231 y 232 abren y 228 y 229.
- Abre: entrada de agua (240) aire a 1^a y 2^a camas y arranca bomba de agua X-204.

CALCINACIÓN

- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada.



- Se verifica que se tengan las condiciones de operación correctas en el sistema de regeneración.
- Se designan TSP 1 = 530, MAXIT 0 = 580 y se arranca la secuencia TEMP.
- Se designa O₂Sp 1 = 8 y se arranca la secuencia OXYGEN.
- Se designa O₂Sp 2 = 8 y se arranca la secuencia OXYGEN.
- Se ajusta el SP del TIC-231 a 600 °C.
- Se espera 5 minutos y a que la concentración de oxígeno en la entrada de la cama 1 del Regenerador sea mayor de 8% en (AIN 1 8).
- Se espera a que todas las temperaturas de cama del Regenerador sean mayores de 500 °C. 11, 12 y 13 495 °C
- Una vez que se cumple lo anterior, se deja correr 30 minutos en estas condiciones.
- Después de 30 minutos, se manda a parar el compresor de aire GB-202/R.
- Cierran YV-228 y YV-229 y abre la válvula de venteo YV-230.
- Cierran YV-231 y YV-232 y abre la válvula de venteo YV-230.
- Se manda a detener la secuencia OXIGEN. (Arranca OXYGEN 30)
- Se ajusta el SP del FIC-201, FIC-202 a -30 para que las válvulas FV-201 y 202 cierren. Se va la secuencia a COOLIN 1.

ENFRIAMIENTO/PURGA

- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada.
- Se verifica que se tengan las condiciones de operación correctas en el sistema de regeneración.
- Se designa TSP 1 = 380 y se arranca la secuencia TEMP.
- Se ajusta el SP del TIC-231 a 350 °C.
- Se espera a que los TI's 211 y 221 estén en 450 °C.
- Se inyecta gas inerte con YV-238 con el fin de eliminar el oxígeno en el circuito de regeneración.
- Se espera a que los valores corregidos de contenido de oxígeno AIN 1, AIN 2, AOUT 2, sean menores del 1%.
- Cuando se cumple lo anterior, cierra la válvula YV-238.
- Se espera a que todas las temperaturas de cama y salidas del Regenerador sean menores de 40 °C. Se va la secuencia a ISOL 1.



AISLAMIENTO

- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada.
- Se abre la válvula de by-pass YV-226.
- Cierra la válvula YV-241 de la toma de muestra al analizador de oxígeno AE-221.
- Se espera 30 segundos.
- Se verifica que el contenido de oxígeno que indican todos los analizadores sea menor del 1%.
- Cierran las válvulas YV-219, YV-218, YV-221, YV-222.
- Se ajusta el SP del TIC-201 a 380 °C.
- Abren las válvulas de venteo YV-220, YV-223.
- Abren las válvulas de venteo del Regenerador YV-224, YV-225.
- Se espera 5 minutos y a que la presión del PI-202 sea menor de 0.5 Kg/cm².
- La computadora manda a imprimir los mensajes: FAVOR DE CHECAR EL CONTENIDO DE SOSA EN LA SOLUCIÓN DE LAVADO y FAVOR DE TOMAR MUESTRA DE CATALIZADOR (DESPUÉS DE LA REGENERACIÓN). MANDAR AL OPERADOR A PARAR LA BOMBA DE SOSA GA-203.
- Se detiene la secuencia y el operador debe reanudarla desde el S.C.D. una vez que se terminen de tomar las muestras de catalizador.
- El regenerador queda depresionado y en atmósfera con muy bajo contenido de oxígeno. La bomba GA-203 hay que arrancarla cuando se conecta el circuito de regeneración.

DESCARGA, (UNLOAD).

- Se verifica que todas las válvulas estén en la posición adecuada.
- Se espera a que el nivel del FA-203 (LI-203) sea menor de 35% y que el nivel del FA-201 (LI-201) sea mayor de 40%.
- Cierran las válvulas YV-224 y YV-225.
- Cierran las válvulas YV-211 y YV-212 dejando sin sellos la línea de DESCARGA.
- Abren las válvulas YV-209, YV-210. Se equilibran las presiones entre FA-202 y FA-203.
- Abre la válvula YV-213 para meter gas inerte al Regenerador.
- Se espera a que la presión del regenerador (PI-202) sea mayor de 9 Kg/cm².
- Una vez que se cumple lo anterior, cierra YV-213.
- Abre la válvula YV-215 con el fin de igualar las presiones de FA-202 y FA-203.



- Después de 10 minutos, abre la válvula YV-208.
- La computadora manda a imprimir el mensaje: NIVEL DEL FA-203 ANTES DE LA DESCARGA y el valor del LI-203.
- Cierra la válvula YV-215.

DESCARGA

- Abre la válvula YV-207 y el catalizador empieza a caer hacia el FA-203. Si no cae, abrir la YV-213 para ayudar a bajar. El catalizador (abrir YV-213 unos 15 segundos y volverla a cerrar).
- Se espera a que transcurran 30 minutos.
- La computadora manda a imprimir el mensaje: NIVEL DE FA-203 DESPUÉS DE LA DESCARGA y el valor del LI-203.

ELABORACIÓN DEL REPORTE DE LA REGENERACIÓN

- La computadora manda a imprimir el reporte de la regeneración correspondiente al lote que se acaba de DESCARGAR.

ESTABLECIMIENTO DEL DOBLE SELLO EN LA LÍNEA DE DESCARGA

- Cierra la válvula YV-207.
- Después de un minuto, cierran las válvulas YV-208, YV-209 y YV-210.
- Abren las válvulas YV-211, YV-212 con lo cual la línea de DESCARGA queda con doble sello (uno de alta presión conectado al sistema de gas inerte y otro de baja presión conectado al desfogue). Y cierra YV-252.
- El regenerador queda vacío de catalizador y con presión de hidrógeno.
- La secuencia avanza hacia el paso de CARGA para empezar la regeneración de un nuevo lote de catalizador.

3.3 OBJETIVO DEL CAMBIO AL PROCESO

El objetivo de modificar el reformador catalítico es producir un reformado de octanaje alto; siendo éste, un componente importante de la fuente de gasolina, y un gas rico en hidrógeno,



reutilizando los reactores existentes, añadiendo uno más y aumentando también su circuito de regeneración asociada, además de un calentador adicional con el objeto de lograr la operación uniforme de la unidad. La sección de recontacto existente se ha modificado instalando un paquete de refrigeración para incrementar la recuperación de C_5^+ .

Los reactores existentes se cargan con el catalizador existente, y el nuevo con un catalizador especial para la sección regenerativa. Como consecuencia del catalizador y de la tecnología regenerativa continua, la presión de la operación se redujo con el fin de obtener mejores rendimientos. Sin embargo, esta presión baja de operación exigió se efectuaran algunas modificaciones a la planta existente. La baja en la presión en el circuito de reacción se redujo y se sustituyó el intercambiador de carga/efluente existente por un intercambiador de tipo placa soldada con una caída baja de presión. No obstante, el compresor de hidrógeno producto y el separador de recontacto existentes no exigen modificación alguna.

Para proteger el nuevo intercambiador tipo placa, se instaló un filtro adicional en la carga a la unidad.

Para proteger al catalizador del reformador contra envenenamiento por azufre (H_2S), se instala una guarda de azufre en la carga al reformador.

En el **Diagrama 3.1** se muestra la vista general de la **Unidad CCR**.

3.4 ANÁLISIS DE RIESGOS HAZOP

Para llevar a cabo el Análisis de Riesgos HazOp en la Unidad de Regeneración Continua de Catalizador (**CCR**), se llevó a cabo el siguiente plan de trabajo:

Para iniciar con el estudio HazOp, es necesario contar con los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) actualizados y que el equipo multidisciplinario haya entendido la operación normal de la planta. El HazOp debe ser conducido por un coordinador, facilitador o guía del equipo, con experiencia en realizar estudios HazOp (aunque no tenga experiencia en la planta que se estudie), quien promoverá la creatividad para aplicar las palabras guía, con el objeto de identificar el problema, no de resolverlo.



Una vez cubiertos los puntos anteriores, se procede a dividir el proceso en circuitos. A su vez, los circuitos serán divididos en nodos. Los nodos son partes del proceso lo suficientemente pequeños para ser significativos y lo suficientemente grandes para poderse manejar, es decir, se considera como nodo un equipo con sus líneas de alimentación y descarga o aquella parte del proceso en la cual un parámetro de la operación varía.

Posteriormente se selecciona un nodo y se determinan los parámetros del mismo. Los parámetros son las condiciones físicas o químicas del proceso que pueden medirse o inferirse.

Dentro de los parámetros más importantes se tienen: flujo, temperatura, presión, nivel, composición, etc.

A cada uno de los parámetros se le aplicarán las palabras guía que lo "modifican", las palabras guía que se utilizan son: no, más, menos, parte de, también como, otro que e inverso.

Al aplicar una palabra guía al parámetro se obtiene una desviación, por ejemplo si el parámetro es flujo y la palabra guía es menos, la desviación será menos flujo.

Para cada desviación hay que:

1. Identificar causas.
2. Para cada causa, determinar consecuencias asumiendo que fallan todas las protecciones o no existen.
3. Listar las salvaguardas y protecciones.
4. Determinar el nivel de riesgo para cada causa, considerando la frecuencia con la que se da la causa y la gravedad de la consecuencia.
5. Hacer recomendaciones para minimizar el riesgo, ya sea realizándolas para disminuir la frecuencia de la causa o para disminuir la gravedad de la consecuencia.

3.4.1 PERÍODO DEL ESTUDIO DE LAS SESIONES HAZOP

Las sesiones HazOp se llevaron a cabo en el período del 10 de Octubre al 21 de Noviembre del 2002.



3.4.2 NODOS SELECCIONADOS PARA ESTE ESTUDIO

A continuación, se presentan en la **Tabla 3.1** los escenarios que fueron sujetos al análisis HazOp, los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI's) que fueron utilizados y posteriormente las hojas de registro del análisis HazOp, realizadas con el software HazOp Wizard®.

No.	Descripción	NUMERO DE DTI
1.	Torre regeneradora FA-202	3.2
2.	Tambor superior de balance FA-201	3.3
3.	Enfriador del gas de regeneración EC-201	3.4
4.	Torre lavadora FA-205	3.4
5.	Tambor inferior de balance FA-203	3.5
6.	Cambio de la inyección de sosa antes de la entrada del EC-201	3.4
7.	Instalación de válvulas de aislamiento por activación remota (VAAR)	3.6
8.	Alimentación de H ₂ a CCR	3.6

Tabla 3.1. Nodos Seleccionados

3.4.3 REGISTRO DE LAS SESIONES HAZOP

En las hojas de registro HazOp se muestran los siguientes resultados obtenidos del Análisis de Riesgos: El nombre del nodo analizado, el producto manejado en el proceso, los diagramas utilizados en el análisis del nodo, las desviaciones, las causas y consecuencias de dichas desviaciones, la frecuencia, la gravedad, el índice de riesgo, las protecciones existentes y las recomendaciones sugeridas por el equipo multidisciplinario para reducir el índice de riesgo así como la clase de dicha recomendación.



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 1. Alta Temperatura en la Torre FA-202

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
1. Alto contenido de oxígeno en el gas de regeneración (Arriba del 0.6% mol).	1. Sinterización del catalizador (el platino se aglutinaria en las esferas del catalizador). 2. Alta formación de finos de catalizador. 3. Daños a la malla central (DEMISTER) y a los internos de la torre regeneradora de catalizador FA-202. 4. Paro de la unidad CCR-II. 5. Pérdida de calidad de la producción.	1 (2)	4 (4)	6 (7)	1. Los programas Oxygen y Temp los cuales son parte del sistema de control secuencial de CCR-II de computador MicroVax. 2. Analizadores de Oxígeno AI-211, AI-221, AI-222. 3. Los indicadores de temperatura y alarmas de la torre FA-202 (TI-213/214/221/222, 223, 224). 4. Alarma por alto contenido de O2 AHH-222 en CC y AHH-222 en PLC. 5. Válvulas reguladoras de inyección de aire YV-231 y YV-232. 6. Controlador de inyección de flujo de aire FC-201/202.	1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a analizadores de oxígeno. 2. Continuar con la capacitación técnica del personal operativo.	D



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 1. Alta Temperatura en la Torre FA-202

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
2. Hidrocarburos en el catalizador.	1. Combustión en el interior de la torre regeneradora FA-202. 2. Sinterización del catalizador (el platino se aglutinaria en las esferas del catalizador). 3. Alta formación de finos de catalizador. 4. Daños a la malla central (DEMISTER) y a los internos de la torre regeneradora de catalizador FA-202. 5. Paro de CCR-II. 6. Pérdida de la calidad de la producción.	3 (3)	4 (4)	9 (9)	1. Sistema de purgado de la torre regeneradora de catalizador FA-202	1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los compresores de gas inerte GB-203/R. 2. Asegurar el suministro de Nitrógeno al sistema de regeneración continua de catalizador.	D



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 2. Deficiencia en la activación del catalizador.

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
3. Deficiencia en la etapa de quemado de carbón	1. Alto contenido de carbón en el catalizador después del quemado. 2. Se desfavorecen las reacciones de deshidrogenación. 3. Deficiencias en la etapa de Oxidación.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	1. Muestreo del catalizador después de la etapa de Oxidación. 2. Ejecución de la etapa de quemado del catalizador mediante el programa de la computadora de control secuencial (MicroVax).	1. Seguir cumpliendo las etapas de quemado de acuerdo al procedimiento establecido para la regeneración de catalizador.	C



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 2. Deficiencia en la activación del catalizador.

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
4. Deficiencia de cloro por presencia de un exceso de agua (contenido de cloruro en rango de 0.9 a 1.10% en peso).	1. Incompleta cloración del catalizador por debajo del rango establecido. 2. Deficiencia en la función ácida (cloruros) del catalizador. 3. Inhibición en las reacciones de ciclación de parafinas, bajo número de octanos a lo esperado. 4. Disminución en la formación de isómeros que elevan el número de octano.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	1. Muestreo del catalizador después de la etapa de Oxidación. 2. Ejecución de la Oxidación mediante el programa de la computadora de control secuencial (MicroVax).	1. Seguir cumpliendo las etapas de Oxidación de acuerdo al procedimiento establecido para la regeneración del catalizador. 2. Verificar o asegurar pureza del Dicloroetano. 3. Realizar análisis de laboratorio para determinar pureza del Dicloroetano.	C



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 3. Alta presión en la torre FA-202.

LOI: 8.0Kg/cm

LOS: 12Kg/cm

LSI: 7.0Kg/cm

LSS: 12.5Kg/cm

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
5. Falla el sello hermético de la válvula YV-204 en posición de abierto.	1. Entrada de N2 a la torre regeneradora de catalizador FA-202. 2. Daños a loa internos de la torre regeneradora de catalizador FA-202. 3. Paro de la unidad CCR-II.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	1. El orificio de restricción FO-206. 2. El posicionador ZC-204 de la válvula YV-204. 3. La válvula YV-205 con destino cabezal desfogues. 4. La válvula YV-212. 5. El indicador de presión local PI-207.	1. Realizar un estudio para revisar las causas por las que se presentan exceso de finos, los cuales se depositan en el asiento de la válvula YV-204. 2. Realizar la prueba de hermeticidad a la válvula YV-204 durante una programación programada.	D

	Planta: UNIDAD CCR	Circuito: Regeneración de Catalizador							
	Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202								
	Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 2)	Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)							
Desviación: 3. Alta presión en la torre FA-202.									
		LOI: 8.0Kg/cm		LOS: 12Kg/cm		LSI: 7.0Kg/cm		LSS: 12.5Kg/cm	
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase		
6. Falla el lógico de control de temperatura TIC-231.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Aumento de temperatura en la corriente del gas de regeneración de la unidad CCR. 2. Daños a loa internos de la torre regeneradora de catalizador FA-202. 3. Fuga por las bridas de la torre regeneradora de catalizador FA-202. 4. Paro de la unidad CCR. 	2 (3)	4 (4)	7 (9)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Alarma por alta temperatura TAH-231/A/B/C. 2. La FSLL-215 alarma por bajo bajo flujo hacia el calentador BA-201. 3. El indicador de presión local PI/PT-202. 4. Sistema de control secuencial para CCR. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar con el mantenimiento preventivo al sistema de protecciones del calentador BA-201. 	D		



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 3. Alta presión en la torre FA-202.

LOI: 8.0Kg/cm

LOS: 12Kg/cm

LSI: 7.0Kg/cm

LSS: 12.5Kg/cm

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
7. Falla del empaque del plato de la segunda cama de la torre regeneradora FA-202.	1. Plato dañado en la segunda cama de regeneración de la torre regeneradora FA-202. 2. Taponamiento de la salida de los gases de regeneración. 3. Paro de CCR.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	1. El indicador de presión local PI-207. 2. El indicador de presión local PI-202. 3. La FALL-215 alarma por bajo bajo flujo del gas de regeneración.	1. Realizar un estudio detallado para encontrar la causa que origina la falla del empaque del plato de la segunda cama de la torre regeneradora FA-202. 2. Efectuar revisión del empaque del palto de la segunda cama de la torre regeneradora FA-202 en cada reparación general programada.	D



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 1. Torre Regeneradora FA-202

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.2)

Producto: Catalizador y Gas de Regeneración (H2)

Desviación: 4. Presencia de cloro en la torre FA-202.

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
<p>8. Falta de neutralización con sosa de los gases ácidos producto de la regeneración en la sección de lavado.</p>	<p>1. Corrosión a los internos de la torre regeneradora de catalizador FA-202.</p> <p>2. Daño a la salud del personal operativo de la planta si existe fuga por corrosión.</p> <p>3. Paro de la unidad CCR. (Pérdida de producción).</p>	<p>3 (2)</p>	<p>4 (3)</p>	<p>9 (6)</p>	<p>1. Alarma por bajo flujo FAL-209.</p> <p>2. Alarma por alto/bajo nivel de sosa a la torre lavadora LC-204.</p> <p>3. Indicador de nivel LG-204.</p> <p>4. Procedimiento de muestreo de sosa de rutina en laboratorio.</p>	<p>1. Revisar si el procedimiento es el adecuado para la neutralización del HCl con sosa en la torre lavadora FA-205.</p> <p>2. Si el inciso anterior no se cumple, realizar un estudio para mejorar dicha reacción de neutralización.</p>	<p>C</p>



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 2. Tambor superior de balance FA-201

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.3)

Producto: Gas de regeneración

Desviación: 1. Más presión en el FA-201

LOI: 10Kg/cm2

LOS: 12

LSI: 0

LSS: 14

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
9. Deficiente purga de finos del catalizador.	1. Taponamiento del tambor superior de balance FA-201. 2. Se dañan los internos de la válvula YV-204 en el domo de la torre regeneradora de catalizador FA-202. 3. Transferencia de finos hacia la torre regeneradora de catalizador FA-202.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	1. El PI-201 indicador local de presión del FA-201. 2. Válvula de seguridad PSV-201. 3. By-pass del tambor superior de balance FA-201. 4. El control de presión PC-221.	1. Continuar aplicando el procedimiento de purgado de finos para evitar depósitos en los internos de las válvulas. 2. Realizar los levantes a la velocidad de diseño para evitar el fraccionamiento del catalizador y el exceso de formación de finos.	D



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 2. Tambor superior de balance FA-201

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.3)

Producto: Gas de regeneración

Desviación: 1. Más presión en el FA-201

LOI: 10Kg/cm2

LOS: 12

LSI: 0

LSS: 14

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
10. Falla del lazo de control de presión diferencial PDC-215.	1. Paro del levantamiento del catalizador gastado. 2. Paro del levantamiento del catalizador regenerado. 3. No se realizaría el soplado de finos. 4. Taponamiento del tambor superior de balance FA-201. 5. Se dañan los internos de la válvula YV-204. 6. Transferencia de finos hacia la torre regeneradora de catalizador FA-202.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	1. Mantenimiento preventivo al control de presión diferencial PDC-215. 2. El indicador de presión local PI-201 FA-201. 3. Válvula de seguridad PSV-201. 4. By-pass del tambor superior de balance FA-201. 5. El controlador de presión PC-221.	1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo al control de presión diferencial PDC-215. 2. Realizar los levantes a la velocidad de diseño para evitar el fraccionamiento del catalizador.	D



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Regeneración de Catalizador

Nodo: 2. Tambor superior de balance FA-201

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.3)

Producto: Gas de regeneración

Desviación: 1. Más presión en el FA-201

LOI: 10Kg/cm2

LOS: 12

LSI: 0

LSS: 14

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
11. Más flujo de alimentación del gas de levante de catalizador de la sección de regeneración.	1. Formación de finos desde la olla de levante hasta el Fluidizador de catalizador gastado FA-231.	2 (2)	4 (4)	7 (7)	1. El controlador de presión diferencial PDC-215. 2. El controlador de presión diferencial PDC-212. 3. El controlador de flujo FC-203. 4. El indicador de presión PI-201. 5. Indicador de nivel LI-201 y alarma por bajo nivel LAH-201.	1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Realizar los levantes a la velocidad de diseño para evitar el fraccionamiento.	D



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de recirculación

Nodo: 3. Enfriador del gas de regeneración EC-201

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 4)

Producto: Gas ácido

Desviación: 1. Alto contenido de HCl en la corriente de entrada al EC-201

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
12. Efluente de la torre regeneradora de catalizador FA-202 con alto contenido de cloro.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrosión de la fluxería del enfriador de gas de regeneración EC-201. 2. Gas de regeneración más caliente a la torre lavadora FA-205. 3. Daños a loa internos de la torre lavadora FA-205. 4. Deficiente regeneración del catalizador. 5. Fuga del gas de regeneración con sosa por la fluxería del enfriador de gas de regeneración EC-201, originando un área riesgosa que es necesario acordonar, supervisar y neutralizar, hasta corregir el problema. 6. Inhabilitación de la torre lavadora FA-205. 7. Paro de la unidad CCR. 	1 (1)	3 (3)	4 (4)	<ol style="list-style-type: none"> 1. El programa secuencial de la regeneración del catalizador. 2. Toma de muestra de la corriente de gas de regeneración. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Realizar un estudio detallado para encontrar las causas que originan la corrosión en los internos del enfriador de gas de regeneración. 2. Establecer un procedimiento para e muestreo y análisis de la corriente de gas de regeneración. 3. Realizar la difusión del procedimiento mencionado anteriormente para su corriente aplicación. 4. Continuar con la capacitación permanente al personal operativo. 	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de recirculación

Nodo: 3. Enfriador del gas de regeneración EC-201

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.4)

Producto: Gas ácido

Desviación: 1. Alto contenido de HCl en la corriente de entrada al EC-201

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
13. Exceso de inyección de Dicloroetano a la corriente de entrada al enfriador del gas de regeneración EC-201.	1. Corrosión de la fluxería del enfriador de gas de regeneración EC-201. 2. Gas de regeneración más caliente a la torre lavadora FA-205. 3. Daños a los internos de la torre lavadora FA-205. 4. Deficiente regeneración del catalizador. 5. Fuga del gas de regeneración con sosa por la fluxería del enfriador de gas de regeneración EC-201, originando un área riesgosa que es necesario acordonar, supervisar y neutralizar, hasta corregir el problema. 6. Inhabilitación de la torre lavadora FA-205. 7. Paro de la unidad CCR.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	1. Programa secuencial de la regeneración del catalizador. 2. Toma de muestra de la corriente de gas de regeneración.	1. Realizar un análisis para determinar la pureza con que se inyecta el Dicloroetano (ya que actualmente contiene impurezas). 2. Realizar la inyección de Dicloroetano de acuerdo a la secuencia de regeneración. 3. Revisar el programa secuencial de acuerdo al procedimiento establecido.	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 4. Torre Lavadora FA-205

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3,4)

Producto: Gas de recirculación

Desviación: 1. Alta presión en la torre lavadora FA-205

LOI: 7.0Kg/cm2

LOS: 12Kg/cm2

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
14. Falla el controlador de presión PC-220.	1. Daños en los internos de la torre lavadora FA-205. 2. Fugas por bridas de la torre lavadora FA-205. 3. Paro de la unidad CCR.	2 (2)	3 (3)	6 (6)	1. La válvula se seguridad PSV-208. 2. La válvula reguladora de presión PV-220A.	1. Continuar con el mantenimiento preventivo a controlador de presión PC-220. 2. Seguir cumpliendo tonel programa de calibración de la válvula de seguridad PSV-208.	C



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 4. Torre Lavadora FA-205

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 4)

Producto: Gas de recirculación

Desviación: 1. Alta presión en la torre lavadora FA-205

LOI: 7.0Kg/cm2

LOS: 12Kg/cm2

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
15. Falla del enfriador de gas de regeneración EC-201.	1. El gas de regeneración de la torre regeneradora de catalizador FA-202, llega con temperatura por arriba de la de operación. 2. Deficiente neutralización del gas de regeneración. 3. Daños en los internos de la torre lavadora FA-205. 4. Fugas por bridas de la torre lavadora FA-205. 5. Contaminación ambiental y daños a la salud de los trabajadores, daños al sistema de drenaje y equipos. 6. Paro de la unidad CCR.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	1. El control lógico de temperatura TIC-219. 2. El indicador local de temperatura TI-220.	1. Establecer un procedimiento para el muestreo y análisis de la corriente de gas de regeneración. 2. Continuar aplicando el procedimiento de neutralización del HCl con la sosa. 3. Realizar la difusión del procedimiento mencionado anteriormente para su correcta aplicación. 4. Continuar con la capacitación permanente al personal operativo. 5. Solicitar la recategorización del operador de 2ª. Al operador especialista.	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 4. Torre Lavadora FA-205

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.4)

Producto: Gas de recirculación

Desviación: 2. Más nivel en la torre lavadora FA-205

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
16. Falla de los controladores de nivel LC-204 y LC-205	1. Mayor arrastre de humedad al paquete de secado Z-204. 2. Daños a los compresores de recirculación GB-202/R. 3. Paro de la unidad CCR.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	1. Alarma por alto alto nivel LAHH-202. 2. Alarma por alto alto nivel LAHH-207. 3. El vidrio de nivel local LG-204 y LG-205.	1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los instrumentos de las alarmas por bajo nivel LSHH-204 y 205.	C



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 4. Torre Lavadora FA-205

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.4)

Producto: Gas de recirculación

Desviación: 2. Más nivel en la torre lavadora FA-205

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
17. Cristalización de la sosa por alta concentración de la misma.	1. Taponamiento de la línea de la válvula LV-204, (1"CH-200-611-A1F(A3A)) 2. Mayor arrastre de humedad al paquete de secado Z-204. 3. Daños a los compresores de recirculación GB-202/R. 4. Paro de la unidad CCR.	1 (1)	4 (4)	6 (6)	1. La prueba de laboratorio que se realiza a la sosa antes de ser inyectada a la corriente de gas de regeneración.	1. Realizar una toma de muestra por cada lote de regeneración.	C



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 5. Tambor inferior de balance FA-203

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.5)

Producto: Gas inerte

Desviación: 1. Más presión en el tambor inferior de balance FA-203

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
18. Falla del controlador de flujo FC-211 y los bloqueos Pero lo estén abiertos.	1. Mayor velocidad de levante de catalizador. 2. Mayor producción de finos. 3. Daño en las válvulas de transferencia de catalizador. 4. Menor levante de catalizador. 5. Fuga por bridas. 6. Incendio por fuga de hidrógeno a más de 450°C.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	1. Mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Continuar con el mantenimiento preventivo al FC-211.	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 5. Tambor inferior de balance FA-203

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.5)

Producto: Gas inerte

Desviación: 1. Más presión en el tambor inferior de balance FA-203

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
19. Falla del lógico de control diferencial PDC-211.	1. Mayor velocidad de levante de catalizador. 2. Mayor producción de finos. 3. Daño en las válvulas de transferencia de catalizador. 4. Menor levante de catalizador. 5. Fuga por bridas. 6. Fuga de hidrógeno a más de 450°C.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	1. Mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Continuar con el mantenimiento preventivo al PDC-211.	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 5. Tambor inferior de balance FA-203

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 5)

Producto: Gas inerte

Desviación: 1. Más presión en el tambor inferior de balance FA-203

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
20. Falla del lógico de control diferencial PDC-201.	1. Daños a los internos del intercambiador de calor del gas hidrógeno de alimentación EA-204 y 203. 2. Fuga por bridas. 3. Fuga de hidrógeno a más de 450°C. 4. Paro de CCR.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	1. Mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Continuar con el mantenimiento preventivo al lógico de control diferencial PDC-201.	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 5. Tambor inferior de balance FA-203

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.5)

Producto: Gas inerte

Desviación: 1. Más presión en el tambor inferior de balance FA-203

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
21. Falla del controlador de flujo FC-208.	1. Mayor flujo por indicación falsa del controlador de flujo FC-208. 2. La válvula FV-208 se va a posición de cerrado por falta de la señal. 3. Fuga por bridas. 4. Fuga de hidrógeno a más de 450°C. 5. Paro de CCR.	1 (1)	3 (3)	4 (4)	1. Mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Continuar con el mantenimiento preventivo al controlador de flujo FC-208.	B



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 6. Inyección de sosa antes de la entrada del EC-201

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.4)

Producto: Gas de regeneración

Desviación: 1. Deficiente neutralización del HCl con sosa

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
<p>22. Mala aspersión de la sosa en el punto de inyección de la corriente de gas de regeneración.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Corrosión en los internos del enfriador de gas de regeneración EC-201. 2. Corrosión en los internos de la torre lavadora FA-205. 3. Fugas por roturas del enfriador de gas de regeneración EC-201. 4. Daños en los internos de la torre lavadora FA-205. 5. Contaminación ambiental y daños a la salud de los trabajadores, daños al sistema de drenaje y equipos. 6. Paro de la unidad CCR. 	<p>1 (1)</p>	<p>3 (3)</p>	<p>4 (4)</p>	<p>1. No hay.</p>	<p>1. Habilitar la boquilla de inyección de sosa de acuerdo a diseño en el nuevo punto de inyección (ver detalle en diagrama de tubería e instrumentación 3.4</p>	<p>B</p>



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 7. Línea de salida 3"-P-200-070-A3F(B1A) de gas de hidrógeno de la sección de Regeneración a la Unidad 500.

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.6)

Producto: Gas Hidrógeno

Desviación: 1. Instalación de válvulas de aislamiento por activación remota

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
23. Instalación de válvulas VAAR en línea de salida 3"-P-200-070-A3F(B1A) de gas hidrógeno de la sección de regeneración a la unidad 500.	1. Evitar fugas de H2 en la salida de la sección de regeneración. 2. Evitar incendio por fuga de H2 en la salida de la sección de regeneración de CCR. 3. Evitar daños al personal, las instalaciones y al medio ambiente.	1 (1)	2 (2)	3 (3)	2. No hay.	1. La instalación de las válvulas VAAR deberá realizarse en el programa institucional de reparaciones generales del 2004.	A



Planta: UNIDAD CCR

Circuito: Gas de regeneración

Nodo: 7. Línea de entrada 3"-P-200-087-A3F(B1A) de gas hidrógeno a la sección de Regeneración de Catalizador.

Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3.6)

Producto: Gas Hidrógeno

Desviación: 1. Instalación de válvulas de aislamiento por activación remota

Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
<p>24. Instalación de válvulas VAAR en línea de entrada 3"-P-200-070-A3F(B1A) de gas hidrógeno a la sección de regeneración de catalizador.</p>	<p>1. Evitar fugas de H2 en la entrada de la sección de regeneración.</p> <p>2. Evitar incendio por fuga de H2 en la entrada de la sección de regeneración de CCR.</p> <p>3. Evitar daños al personal, las instalaciones y al medio ambiente.</p>	<p>1 (1)</p>	<p>2 (2)</p>	<p>3 (3)</p>	<p>3. No hay.</p>	<p>1. La instalación de las válvulas VAAR deberá realizarse en el programa institucional de reparación general del 2004.</p>	<p>A</p>

	Planta: UNIDAD CCR	Circuito: Gas de regeneración					
	Nodo: 8. Alimentación de H2 a CCR						
	Diagramas: Diagrama de tubería e instrumentación (3. 6)	Producto: Gas Hidrógeno					
Desviación: 1. Ausencia de flujo hacia la sección de regeneración de CCR							
Causas:	Consecuencias:	F	G	R	Protecciones	Recomendaciones	Clase
25. Válvulas VAAR cerradas en la entrada a CCR.	1. Daños en los calentadores de fuego directo BA-201 y BA-202. 2. Paro de la unidad CCR.	2 (3)	2 (4)	4 (9)	1. Los compresores redundantes BC-2006C/D.	1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los compresores redundantes BC-2006C/D.	D



3.5 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

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

El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos en un árbol de fallas se muestran en la **Tabla 3.2**.

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

Tabla 3.2. Criterio de probabilidades en el Árbol de Fallas

3.5.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ESCENARIOS PARA EL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

Se seleccionó un escenario para realizar el Análisis de Árbol de Fallas, de acuerdo al resultado del Análisis HazOp.

La técnica de FTA fue usada para la evaluación del siguiente escenario:

1. "Fuga de gas ácido en torre lavadora FA-205".

En la **Tabla 3.3** se describe el fundamento por el cual se escogió este escenario.



ESCENARIO DE ACCIDENTE	CAUSA/FUNDAMENTO	CONSECUENCIAS
------------------------	------------------	---------------

1. Fuga de gas ácido en torre lavadora FA-205.	Se puede producir una fuga de gas de regeneración por corrosión en los internos, juntas y bridas de la torre lavadora FA-205.	Fuga del gas de regeneración con sosa por los internos de la torre lavadora FA-205, originando un área riesgosa que es necesario acordonar, supervisar y neutralizar, hasta corregir el problema.
--	---	---

Tabla 3.3. Fundamento del escenario elegido

3.5.3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

Primero se construye el árbol de fallas considerando todas las posibles causas que pudieran llevar al evento culminante, posteriormente se asigna probabilidades para el cálculo de la probabilidad del evento culminante.

Como se muestra en el **Diagrama 3.9**, la fuga de gas ácido en la torre lavadora FA-205 se puede dar por dos causas principales:

1. Corrosión en los internos de la torre lavadora FA-205.
2. Alta presión en la torre lavadora FA-205.

Referirse al diagrama señalado para ver la secuencia de eventos que desencadenan al evento culminante para cada caso.

3.6 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Para este análisis 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), para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgo.



La mayoría de los accidentes en plantas de proceso son resultado de fugas por poros en secciones de alta presión, incendios en calentadores por fuga o ruptura de sus tubos, así como por presionamiento en equipos críticos por manejar altas temperaturas y altas presiones.

Los modelos matemáticos simulan la descarga de estos materiales, generando información muy útil para determinar las consecuencias de suscitarse un accidente, incluyendo la velocidad de descarga del material, la cantidad total que es descargada y el estado físico del material descargado. Esta información es valiosa para evaluar el diseño de nuevos procesos y en el caso de procesos en operación, evalúa los sistemas de seguridad existentes en la instalación.

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

Frecuentemente los resultados son sólo estimados desde las propiedades físicas, por lo que la mayoría de los modelos tienden a maximizar la tasa de descarga y la cantidad descargada. Esto asegura que la modelación se encuentra "del lado seguro".

En el **Apéndice E** se describen los términos usados en el estudio de accidentes con fuego.

3.6.1 CONSIDERACIONES PARA LA EVALUACIÓN DE EFECTOS DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN.

1. Las composiciones de las mezclas generadas para este estudio, fueron tomadas de los balances de materia de la planta.

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

- 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 los escenarios de fuga se consideró de 0.50" por corrosión debido a las condiciones.
- Las condiciones de presión y temperatura se tomaron de los diagramas de flujo de proceso de cada equipo.



- Se contempló un tiempo máximo para la detección y control de la fuga de 30 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.
- 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 2.2 m/s, con estabilidad ambiental clase E 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.
- Se consideró una temperatura ambiental media del área de 17 °C y una humedad relativa media anual de 75%.
- 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, los cuales se indican en la **Tabla 3.4**, y de los diferentes niveles de sobrepresión que se muestran en la **Tabla 3.5**.

RADIACIÓN	DESCRIPCIÓN
1.4 kW/m ² (440 BTU/h/ft ²)	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este límite se considera como zona de seguridad.
5.0 kW/m ² (1,268 BTU/h/ft ²)	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2º grado sin la protección adecuada. Esta radiación será considerada como límite de zona de amortiguamiento.
12.5 kW/m ² (3,963 BTU/h/ft ²)	Es la energía mínima requerida para la ignición piloteada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 1% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como zona de alto riesgo.

Tabla 3.4 Niveles de Radiación⁽¹⁹⁾



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

Tabla 3.5 Niveles de sobrepresión⁽¹⁹⁾

3.6.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE EFECTOS DE INCENDIO, EXPLOSIÓN Y DISPERSIÓN DE SUSTANCIAS TÓXICAS EN LA PLANTA HIDROS 2.

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

En esta parte del estudio de análisis de riesgos, se presentan los resultados de la evaluación de efectos de incendio y explosión del escenario de accidentes, el cual es de alto riesgo. Este escenario fue identificado durante la realización del análisis HazOp, y se revisó para identificar los eventos más críticos de la planta. En la **Tabla 3.6** se describe el escenario de incendio y explosión seleccionada y sus posibles causas, fundamentos y efectos, así como también los modelos de evaluación de riesgos usados.



ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS					
TIPO DE ESCENARIO	CAUSA Y FUNDAMENTO	EFECTOS			MODELO DE EFECTOS USADO
		RT	OP	T	
1. Incendio y explosión por fuga en brida de la línea de suministro de hidrógeno a CCR.	La fuga se puede presentar por desgaste del material a consecuencia del toque de constante, por la sobrepresión de la línea del gas o por una inadecuada instalación de juntas.	X	X		Modelo de riesgos de incendio y Jet Fire (Ver tabla de resultados y Diagrama 3.3)

Tabla 3.6 Descripción de los escenarios de accidentes

Donde:

RT: Radiación Térmica

OP: Onda de Presión.

T: Dispersión de sustancia tóxica.

Cabe hacer hincapié que éste es sólo un evento supuesto para fines de poder evaluar las consecuencias que pudiera ocasionar y también reiterar que con los programas de mantenimiento que PEMEX realiza en sus instalaciones, la probabilidad de ocurrencia de este evento es muy baja.

ESCENARIO	Parámetros de operación	DATOS INICIALES
		Propiedades físicas de las sustancias involucradas
1. Incendio y explosión por fuga en brida de línea de suministro de hidrógeno a CCR.	T = 38°C P = 38.39 Kg/cm ²	Estos datos los calcula el paquete PHAST cuando se define la mezcla en estudio. Se hace el modelamiento con una mezcla de los siguientes compuestos: <ul style="list-style-type: none"> • Hidrógeno • Metano. • Etano. • Propano. • Iso-butano. • n-butano. • Pentano.

Tabla 3.7. Datos requeridos para cada modelo



3.6.3 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE INCENDIO Y EXPLOSIÓN POR FUGA EN BRIDA DE LA LÍNEA DE SUMINISTRO DE HIDRÓGENO A CCR

Esta fuga es ocasionada por la presencia de un orificio de 1/2" de diámetro. Considerando un tiempo máximo promedio de control de 1800 s, se espera que como evento máximo probable y máximo catastrófico ocurra el evento conocido como Jet Fire, Flash Fire y Explosión por ignición retardada con los siguientes radios de afectación:

Categorías	Nivel de radiación	Jet Fire		
		1.4 kw/m ² Distancia (m)	5 kw/m ² Distancia (m)	12.5 kw/m ² Distancia (m)
	1.5 m/s, F	1143.44	849.29	719.5
	2.2 m/s,E	1101.71	808.68	678.63
	4.0 m/s D	1044.9	678.63	614.44

Tabla 3.8. Radios de afectación

Para el caso de los radios de afectación por radiación con las condiciones del área de la refinería (nivel de radiación de 2.2), se presentan en el **Diagrama 3.7**.

Para las condiciones del lugar de estudio referente a las distancias dentro del límite de inflamabilidad, se presentan en la **Tabla 3.9**.

Concentración(ppm)	Tiempo promedio	Distancia (m)		
		Categoría 1.4/F	Categoría 2.2/E	Categoría 4.0/C
UFL (383276)	18.75 s	41.16	39.02	37.44
LFL (37208)	18.75 s	219.46	218.39	226.85
LFL Frac (18604)	18.75 s	241.57	248.97	264.75

Tabla 3.9. Condiciones referentes a las distancias dentro del límite de inflamabilidad



Los efectos del **Flash Fire**, de acuerdo a los límites de inflamabilidad antes presentados, se dan en la **Tabla 3.10**.

Concentración (ppm)	Distancia (m)		
	Categoría 1.5/F	Categoría 2.2/E	Categoría 4.0/D
18604	241.57	248.97	264.75
37208	219.46	218.39	226.85

Tabla 3.10. Efectos del Flash Fire

Para el caso de una explosión de una nube de vapor no confinada por ignición retardada los resultados se muestran en la **Tabla 3.11**.

Nivel de sobrepresión	Ignición retardada		
	0.5 PSI Distancia (m)	1 PSI Distancia (m)	2 PSI Distancia (m)
1.5 m/s, F	1116.88	459.63	407.68
2.2m/s, E	1141.94	473.53	420.70
4.0 m/s D	1192.96	501.56	446.91

Tabla 3.11. Explosión de una nube de vapor no confinada

En el **Diagrama 3.8**, se presentan los radios de afectación por sobrepresión con las condiciones del área de la refinería. El centro de la explosión a dichas condiciones se encontraría a 240 m de distancia del centro de la fuga.



CAPÍTULO IV
RECOMENDACIONES
Y CONCLUSIONES





4.1 RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS "HAZOP"

Del Análisis de Riesgos HazOp realizado en la Unidad de Regeneración Continua de Catalizador (CCR), se obtuvieron un total de 24 recomendaciones enfocadas a buscar que el área de estudio sea mucho más segura. Ciertamente en la Unidad CCR se cuenta con el equipo de seguridad necesario para evitar cualquier accidente o en su caso mitigar las consecuencias que tendría si llegara a presentarse alguno, sin embargo, estas recomendaciones permitieron detectar áreas en las cuales la seguridad pudiera mejorar aún más, implementando una serie de acciones.

Las recomendaciones obtenidas se clasificaron de acuerdo al nivel de riesgo encontrado, con las letras A (de inaceptable), B (de indeseable), C (de aceptable con controles) y D (de aceptable como está). Se obtuvo 1 recomendación de clase A, 8 de clase B, 6 de clase C y 9 de clase D.

En la **Tabla 4.1** se enlistan las recomendaciones de acuerdo a su orden jerárquico.

ESCENARIOS CON NIVEL DE RIESGO DE CLASE A

Recomendaciones	Escenario	Nivel de Riesgo
1. Instalar las válvulas de aislamiento por activación remota (VAAR) en línea de entrada y salida de gas hidrógeno de la sección de regeneración a la U-500.	23,24	A
2. Deberá realizarse la instalación en el programa institucional de reparaciones general del 2004.		

Tabla 4.1. Recomendaciones obtenidas en el Análisis de Riesgos HazOp, en orden jerárquico



ESCENARIOS CON NIVEL DE RIESGO DE CLASE B

Recomendaciones	Escenario	Nivel	
1. Realizar un estudio detallado para encontrar las causas que originan la corrosión en los internos de enfriador de gas de regeneración.			
2. Establecer un procedimiento para el muestreo y análisis de la corriente de gas de regeneración.	12	B	
3. Realizar la difusión del procedimiento mencionado anteriormente para su correcta aplicación.			
4. Continuar con la capacitación permanente al personal operativo.			
1. Realizar un análisis para determinar la pureza con que se inyecta el dicloroetano (ya que actualmente contiene impurezas).			
2. Realizar la inyección de dicloroetano de acuerdo a la secuencia de regeneración.	13	B	
3. Revisar el programa secuencial de acuerdo al procedimiento establecido.			



1. Establecer un procedimiento para el muestreo y análisis de la corriente de gas de regeneración.		
2. Continuar aplicando el procedimiento de neutralización del HCl con la sosa.		
3. Realizar la difusión del procedimiento mencionado anteriormente para su correcta aplicación.	15	B
4. Continuar con la capacitación permanente al personal operativo.		
5. Solicitar la recategorización del operador de 2a. a operador especialista.		
1. Continuar con el mantenimiento preventivo al FC-211.	18	B
1. Continuar con el mantenimiento preventivo al PDC-211.	19	B
1. Continuar con el mantenimiento preventivo al lógico de control diferencial PDC-201.	20	B
1. Continuar con el mantenimiento preventivo al controlador de flujo FC-208.	21	B
1. Habilitar la boquilla de inyección de sosa de acuerdo a diseño en el nuevo punto de inyección (ver detalle en diagrama de tubería e instrumentación 3.4).	22	B

Tabla 4.1. Recomendaciones obtenidas en el Análisis de Riesgos HazOp, en orden jerárquico



ESCENARIOS CON NIVEL DE RIESGO DE CLASE C

Recomendaciones	Escenario	Nivel
1. Seguir cumpliendo las etapas de quemado de acuerdo al procedimiento establecido para la regeneración de catalizador.	3	C
1. Seguir cumpliendo las etapas de oxiclación de acuerdo al procedimiento establecido para la regeneración del catalizador.	4	C
2. Verificar o asegurar pureza del dicloroetano.		
3. Realizar análisis de laboratorio para determinar pureza del dicloroetano.		
1. Revisar si el procedimiento es el adecuado para la neutralización del HCl con sosa en la torre lavadora FA-205.	8	C
2. Si el inciso anterior no se cumple, realizar un estudio para mejorar dicha reacción de neutralización.		
1. Continuar con el mantenimiento preventivo a controlador de presión PC-220.	14	C
2. Seguir cumpliendo con el programa de calibración de la válvula de seguridad PSV-208.		
1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los instrumentos de las alarmas por bajo nivel LSHH-204 y 205.	16	C
1. Realizar una toma de muestra por cada lote de regeneración.	17	C

Tabla 4.1. Recomendaciones obtenidas en el Análisis de Riesgos HazOp, en orden jerárquico



ESCENARIOS CON NIVEL DE RIESGO DE CLASE D

Recomendaciones	Escenario	Nivel
1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a analizadores de oxígeno.	1	D
2. Continuar con la capacitación técnica del personal operativo.		
1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los compresores de gas inerte GB-203/R.	2	D
2. Asegurar el suministro de Nitrógeno al sistema de regeneración continua de catalizador.		
1. Realizar un estudio para revisar las causas por las que se presentan exceso de finos, los cuales se depositan en el asiento de la válvula YV-204.	5	D
2. Realizar la prueba de hermeticidad a la válvula YV-204 durante una reparación programada.		
1. Continuar con el mantenimiento preventivo al sistema de protecciones del calentador BA-201.	6	D
1. Realizar un estudio detallado para encontrar la causa que origina la falla del empaque del plato de la segunda cama de la torre regeneradora FA-202.	7	D
2. Efectuar revisión del empaque del plato de la segunda cama de la torre regeneradora FA-202 en cada reparación general programada.		



1. Continuar aplicando el procedimiento de purgado de finos para evitar depósitos en los internos de las válvulas.

9 D

2. Realizar los levantes a la velocidad de diseño para evitar el fraccionamiento del catalizador, y el exceso de formación de finos.

1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo al instrumento de presión diferencial PDC-215.

10 D

2. Realizar los levantes a la velocidad de diseño para evitar el fraccionamiento del catalizador.

1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos.

11 D

2. Realizar los levantes a la velocidad de diseño para evitar el fraccionamiento.

1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los compresores redundantes BC-2006C/D.

25 D

Tabla 4.1. Recomendaciones obtenidas en el Análisis de Riesgos HazOp, en orden jerárquico

4.2. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.

Los resultados y recomendaciones para el árbol de fallas por fuga de gas ácido en el FA-205, se muestran en la **Tabla 4.2**. Se tiene una probabilidad de 5.4×10^{-5} y una frecuencia poco probable, no se ha presentado en cinco años. Si se expresa la probabilidad de este evento en por ciento, se tiene que hay un 0.0054 % de probabilidad de ocurrencia en un año.



ESCENARIO	PROBABILIDAD Y FRECUENCIA	RECOMENDACIONES
FUGA DE GAS ÁCIDO EN TORRE LAVADORA FA-205.	P: 5.4×10^{-5} F: 5.54×10^{-5} fallas por año.	<p>Para minimizar la probabilidad de ocurrencia de este evento se recomiendan las siguientes buenas prácticas de trabajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mantener siempre actualizados y en español los procedimientos de operación, mantenimiento, etc. • Contar con los procedimientos de mantenimiento preventivo y predictivo para equipo dinámico. • Supervisar que el trabajo se realice conforme se establece en el procedimiento. • Mantener en forma frecuente la comunicación entre ingenieros y obreros, utilizando la terminología estándar, realizando repeticiones y retroalimentaciones, no dando mensajes muy largos y evitar realizarlas en ambientes ruidosos. • Continuar dando mantenimiento preventivo y predictivo a los equipos de proceso e instrumentos de control en las fechas establecidas, utilizando el material original y adecuado.

Tabla 4.2 Recomendaciones del Análisis de Árbol de Fallas

4.3. RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Para las líneas de suministro y retorno de hidrógeno de recirculación a la unidad CCR se dan las siguientes recomendaciones:

- Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a los compresores redundantes BC-2006C/D.
- Instalación de válvulas VAAR en línea de salida 3"-P-200-070-A3F(B1A) de gas hidrógeno de la sección de regeneración a la U-500.



- Instalación de válvulas VAAR en línea de entrada 3"-P-200-087-A3F(B1A) de gas hidrógeno a la sección de regeneración de catalizador.

Para todos los casos, es necesario realizar periódicamente simulacros contra incendio para verificar los tiempos de respuesta a emergencias y corroborar el correcto funcionamiento del sistema contra incendio de la planta, de igual manera realizar simulacros operacionales, esto de acuerdo al GPASI 03000 y 02701. También es necesario llevar correctamente el calendario de calibración y mantenimiento a los detectores de incendio, mezclas explosivas y tóxicas.

También se consideran las siguientes recomendaciones para éste análisis:

- Aplicar en forma escrupulosa los sistemas de permisos de trabajo, tanto para los de bajo riesgo como para los de alto riesgo.
- Continuar con la aplicación de los lineamientos que establece la Administración del Cambio de PEMEX, elemento 13 del SIASPA, con el propósito de mantener actualizados los DTI´s, DFP´s de la planta, así como la aplicación del análisis HazOp de cada modificación que se realice en la planta tanto de equipos, proceso y operaciones, para detectar todos los riesgos potenciales y no potenciales que puedan suscitarse con dicha modificación (documento normativo DG-GPASI-IT-04901).
- Mantener en automático todos los instrumentos y sistemas de seguridad que así estén configurados para evitar, que en el caso de que se suscite algún incidente, tengan que ser actuados en forma manual. Así mismo, se deben de incluir en el procedimiento para el manejo de cambios las condiciones bajo las cuales se realizará el cambio de modo automático a manual para identificar los riesgos asociados con este tipo de cambios así como para determinar las medidas adecuadas de prevención si se llegara a suscitar un evento estando en modo manual alguno de los sistemas de control operacional o de seguridad.
- Continuar con la difusión de los planes de contingencias reforzándolo con ejercicios o simulacros de emergencia y evacuación de casos previstos e imprevistos para identificar y corregir las fallas en los planes de emergencias y desastres, verificar los tiempos de respuesta a emergencias, corroborar el correcto funcionamiento del sistema contra incendio de la planta, así como los simulacros operacionales, esto de acuerdo al GPASI 03000 y 02701.



- Cumplir a totalidad con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos, equipos críticos, aspersores, líneas, válvulas, sistemas de tierras, sistema de mitigación y protecciones de toda la planta.
- Cumplir estrictamente el programa anual de inspección técnica, seguridad y contra incendio de la planta.
- Reparar las fugas que lleguen a presentarse lo más pronto posible, aun cuando sean pequeñas, y no esperar a que se origine una de mayor tamaño. No se recomienda instalar medidas de mitigación temporales como lo son los anillos de vapor.

4.3.1 LISTA DE BUENAS PRÁCTICAS DE OPERACIÓN

El siguiente listado de actividades son buenas prácticas de operación, mantenimiento y seguridad industrial elaborados por personal de PEMEX, siendo éstas las protecciones para la prevención de eventos extraordinarios en la planta Hidros 2. 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.

NÚM.	ACTIVIDAD O PROGRAMA
1	Lectura y registro de variables operativas en campo
2	Recorridos en campo
3	Programa mensual de corrido de válvulas automáticas
4	Mantenimiento preventivo y predictivo a bombas
5	Mantenimiento preventivo a instrumentos
6	Rotación de equipo dinámico
7	Mantenimiento a lógicos de protección
8	Calibración preventiva de líneas
9	Calibración preventiva de equipos
10	Revisión y calibración de niplerías
11	Calibración de válvulas de alivio
12	Revisión de válvulas de venteo y arrestadores de flama
13	Prueba de hermeticidad en válvulas check
14	Revisión de tornillería
15	Evaluación de corrosión en plantas
16	Evaluación de corrosión en torres de enfriamiento



17	Inspección de ductos
18	Inspección de dispositivos de seguridad de equipos
19	Inspección preventiva de calentadores y hornos
20	Revisión de tuberías
21	Inspección visual de soloaires
22	Inspección preventivas de riesgos
23	Revisión, prueba y limpieza de drenajes
24	Inspección preventiva a subestaciones y registros eléctricos
25	Simulacros operacionales
26	Revisión de equipos de protección personal fijos
27	Pláticas de seguridad
28	Campaña de seguridad
29	Revisión y mantenimiento de equipo de protección contra incendio
30	Prueba de operación de vehículos de contra incendio
31	Pláticas / prácticas contra incendio
32	Simulacros contra incendio
33	Revisión y mantenimiento de equipo fijo de contra incendio
34	Control de emisiones de contaminantes
35	Funcionamiento de quemadores de campo
36	Seguridad radiológica
37	Auditorías
38	Pruebas de sistemas de detección de humos, fuego, explosividad y toxicidad
39	Inspección de cilindros de gases comprimidos
40	Campaña de seguridad
41	Revisión y mantenimiento de equipo de protección contra incendio
42	Prueba de operación de vehículos de contra incendio
43	Pláticas / prácticas contra incendio
44	Simulacros contra incendio
45	Revisión y mantenimiento de equipo fijo de contra incendio
46	Control de emisiones de contaminantes
47	Funcionamiento de quemadores de campo

Tabla 4.3. Lista de buenas prácticas de operación



4.4 CONCLUSIONES GENERALES ⁽²²⁾

Como conclusión final, se puede decir que los objetivos planteados para este trabajo se cumplieron, ya que al aplicar la técnica de Análisis de Riesgos "HazOp", se identificaron los peligros potenciales que podrían provocar algún accidente con consecuencias lamentables.

También se cumplió con el objetivo de plantear mejoras para la mayor seguridad en la operación de la planta, mejorar la seguridad de los trabajadores y de la población circunvecina al obtener mediante el Análisis de Riesgos un total de 24 recomendaciones con sus niveles de prioridad, y para darle seguimiento a estas recomendaciones se elaboró un plan de trabajo con fechas de compromiso a cumplir.

En el Análisis de Árbol de Fallas, se logró cuantificar la probabilidad de ocurrencia de fuga de gas ácido en torre lavadora FA-205. De este análisis se obtuvieron también una serie de recomendaciones que al ser implementadas, reducirán la probabilidad de que tenga lugar dicho accidente.

En el Análisis de Consecuencias se logró escoger un escenario hipotético de un accidente, se evaluaron los efectos que provocaría a los empleados y a la población circunvecina si este accidente se llegara a presentar. En este caso se obtuvieron también una serie de recomendaciones con el fin de mitigar los efectos de algún accidente.

Concluimos también que la integración de los controles administrativos y de ingeniería en un estudio de riesgos y operabilidad ("HazOp") permite prevenir y controlar daños a la salud e integridad física de las personas (dentro y fuera del sitio de trabajo), al ambiente y a la propiedad.

Los tres análisis que se realizaron servirán como un instrumento para lograr que la seguridad en la Unidad CCR, sea mucho mejor. Por otra parte este estudio servirá a la refinería para seguir cumpliendo con el SIASPA, en su elemento de Análisis de Riesgos.

Finalmente el realizar este trabajo, sirvió para tener una definición más clara de las responsabilidades que un **Ingeniero Químico** tiene dentro de la industria, una de las más importantes es el tener como prioridad principal, la seguridad y protección de sus trabajadores, de la comunidad y del medio ambiente.



APÉNDICES





APÉNDICE A
ACCIDENTES CATASTRÓFICOS A NIVEL MUNDIAL A PARTIR DE 1974⁽¹⁴⁾.

ACCIDENTE Y CAUSAS QUE LO ORIGINARON	CONSECUENCIAS
Cubatao (Brasil), 25 de Febrero de 1974. Un oleoducto sufre daños. La gasolina que escapa, se evapora e inflama, dando origen a una gran bola de fuego.	Al menos 500 muertos.
Flixborough (UK), 1 de Junio de 1974. En una planta de Nypro la ruptura de una tubería provoca la descarga de unas 80 toneladas de ciclohexano líquido y caliente. La nube resultante da origen a una explosión de gran poder destructivo.	28 muertos y cientos de heridos. Destrucción completa de las instalaciones.
Seveso (Italia), 9 de Julio de 1976. En una planta de Icmesa (Hoffmann La Roche), una reacción química provoca venteo de un reactor liberándose aproximadamente 2 toneladas de productos químicos a la atmósfera. Entre estos existía de 0.5 a 2 Kg de dioxina (TCDD), cuya dosis letal para una persona de sensibilidad promedio es inferior a 0.1 mg.	Fue preciso evacuar a más de 1000 personas. No hubo muertos como consecuencia directa del accidente, pero la dioxina afecto a muchas personas (acné por cloro), se produjeron abortos espontáneos y contaminación de suelo.
Camping de los Alfaques, San Carlos de la Rapita (España), 11 de Julio de 1978. Un camión con unos 45 m ³ de propileno, dio origen a una explosión BLEVE al chocar con la pared de un camping.	215 muertos.
Isla de las Tres Millas, Pensilvania, USA., Marzo de 1979. Falla el sistema de enfriamiento de una planta nuclear en un entrenamiento que se realizaba con el sistema de emergencias de enfriamiento fuera de servicio.	Las pérdidas económicas ascendieron a los 1.3 mil millones de dólares, los daños físicos a la planta fueron mayores y se emitió una nube radiactiva a la atmósfera sin consecuencias fatales.
San Juan Ixhuatepec, Tlanepantla, Edo. de México, muy cerca de la Ciudad de México, 19 de Noviembre de 1984. Hacen explosión varios tanques de almacenamiento de gas L.P.	452 muertos y más de 4,200 heridos. El número de desaparecidos puede ser de 1000 personas.
Bhopal (India), 2 de Diciembre de 1984. Se produce un escape de gas venenoso (Isocianato de Metilo) en una planta de Unión Carbide que producía insecticidas. La emisión se esparce sobre una superficie de unos 40 Km ² .	2500 muertos por envenenamiento y aproximadamente el mismo número en condiciones críticas. Unas 150,000 personas requirieron tratamiento médico. Se produjeron efectos a largo plazo, como ceguera, trastornos mentales, lesiones hepáticas y renales, así como malformaciones embrionarias.
Planta Nuclear de Chernobyl, Rusia, Ex URSS. 26 de Abril de 1986. Oscilaciones en la corriente de energía eléctrica y un descontrol en la reacción nuclear debido a pruebas de modificación en el reactor.	30 muertos de forma directa y por lo menos 500 heridos debido a la exposición a la radiación. Seis mil millones de dólares perdidos en el año de 1986. Imposible predecir el número de muertes por cáncer que producirá la nube radiactiva que se extendió por toda Europa y parte de Norte América.
Passadena, Cal. USA. Octubre de 1989. En una planta petroquímica se derrama accidentalmente una mezcla de etileno-isobutano. Se presenta el mayor derrame continental de hidrocarburos de la historia.	23 muertos, 132 heridos, pérdidas económicas mayores a los 700 millones de dólares.
Guadalajara (México), 23 de Abril de 1992. Se produce una serie de explosiones en cadena a lo largo de la red urbana de alcantarillado de unos 13 Km de longitud, al parecer debido a la acumulación de combustible.	Los datos oficiales informan de 200 muertos y 1,500 heridos, 1,200 viviendas destruidas, así como 450 inmuebles comerciales. Las estimaciones de daños económicos están alrededor de los 7,000 millones de dólares.
Complejo Productor de Gas, Cactus, Chiapas (México). 26 de Julio de 1996. Explosión en las dos unidades criogénicas. La causa del accidente fue una fuga de gas en una bomba.	Total destrucción de las dos plantas criogénicas, un radio de devastación de hasta 500 m. Por lo menos 14 personas perdieron la vida. Se dejo de producir por lo menos 14 millones de pies cúbicos diariamente. Pérdidas económicas cuantiosas.



APÉNDICE B

AGENTES PERTURBADORES DE ORIGEN QUÍMICO ⁽²⁰⁾

La pérdida de control en alguna de las etapas de un proceso que involucre productos químicos peligrosos, puede ocasionar eventos indeseables de graves consecuencias, dependiendo de la vulnerabilidad del área donde ocurra dicho evento. De ésta manera los peligros concernientes al manejo de sustancias químicas incluyen:

TOXICIDAD

Son los efectos agudos o crónicos que puede provocar una sustancia o residuo en los seres humanos por exposición, al ser inhalado, ingerido o al ingresar al organismo por medio de la piel. Las sustancias tóxicas más peligrosas son aquellas cuyos puntos de ebullición son bajos ya que deben ser transportados como gases criogénicos y al liberarse a la atmósfera se evaporan rápidamente esparciéndose sobre vastas áreas. Los productos peligrosos que son tóxicos pueden tener un efecto psicológico significativo en seres humanos y también causan la muerte a concentraciones bajas. La severidad de estos efectos depende de la concentración, el tiempo de exposición y la vulnerabilidad humana.

DOSIS Y CONCENTRACIÓN LETAL 50

La dosis y concentración letal 50 se utilizan para la clasificación de las sustancias en base a su riesgo potencial de alterar la salud. Las dosis y concentración letal 50 nos ayudan a definir cuan tóxica es una sustancia y por cual de las vías de penetración en el organismo lo es. Se definen como las dosis y concentraciones cuya administración causa la muerte al 50 por 100 de los individuos que la reciben.

Estos parámetros se determinan sobre animales de experimentación, como ratas y conejos. Se pueden diferenciar las siguientes dosis y concentraciones letales:

Dosis letal 50 oral (DL 50 oral): Es aquella cuya administración por vía oral que causa la muerte al 50 por 100 de los individuos que la reciben. Se expresa en mg de sustancia por Kg de masa corporal.



Dosis letal 50 cutánea (DL 50 cutánea): Es la que al administrarse por vía cutánea causa la muerte al 50 por 100 de los individuos que la reciben. Igualmente se expresa en mg de sustancia por Kg de masa corporal.

Concentración letal 50 (CL 50): Es la concentración que, administrada en el medio ambiente de la población de animales en estudio, causa la muerte al 50 por 100 de los individuos. Se expresa en mg de sustancia por litro de aire y un tiempo determinado de exposición (en horas).

Concentración inmediatamente peligrosa para la vida o la salud (IDLH): La concentración inmediatamente peligrosa para la vida y la salud (IDLH) es un parámetro que puede ser de utilidad para la elección del método de protección de las vías respiratorias, con el objeto de evitar un accidente producido por una intoxicación aguda por inhalación. El límite IDLH corresponde a la máxima concentración de contaminante en la atmósfera a la cual, en caso de ausencia o fallo del equipo respiratorio, se podría escapar en un plazo de 30 min sin que la exposición sufrida suponga secuelas irreversibles. Se expresa en ppm o mg/m³. El límite IDLH puede producir una sintomatología inmediata, como mareos, náuseas, irritación de ojos y vías respiratorias, etc.

VALORES LÍMITES UMBRALES

Los criterios de valoración de contaminantes químicos en el medio ambiente de trabajo permiten vislumbrar, de un modo orientativo, el potencial tóxico de una sustancia.

El criterio más extendido en nuestro país es el que propone la American Conference of Governmental Industrial Hygienist (A.C.G.I.H.), conocido como TLV (Threshold Limit Values) o Valores Límites Umbrales. Los TLV son límites recomendables y no una frontera entre condiciones seguras y peligrosas. Se definen tres tipos de TLV, en función de la variedad de efectos que las sustancias pueden producir a las personas expuestas:

TLV-TWA (Valor Límite Umbral Media Ponderada en el Tiempo)

Es la concentración límite, ponderada en el tiempo para una jornada normal de ocho horas diarias y cuarenta horas semanales, a la cual la mayoría de los trabajadores pueden estar



expuestos repetidamente, día tras día, sin sufrir efectos adversos. Este valor es el más característico al que hace referencia habitualmente cuando se cita el valor TLV.

TLV-TWA (Valor Límite Umbral Límite de Exposición de Corta Duración)

Se define como el límite de la exposición media ponderada en el tiempo durante 15 minutos, que no debe sobrepasarse en ningún momento de la jornada, aunque la concentración media de exposición ponderada en el tiempo durante ocho horas sea inferior al TLV-TWA. Las exposiciones para poder aplicar este valor no deben ser mayores de quince minutos, y no deben repetirse más de cuatro veces al día, existiendo un periodo mínimo de sesenta minutos entre sucesivas exposiciones. Este es un valor complementario al TLV-TWA.

TLV-C (Valor Límite Umbral Techo)

Es la concentración límite que no debe sobrepasarse en ningún momento de la exposición durante el trabajo. Todos estos valores se expresan en ppm o mg/m^3 . Los TLV se establecen principalmente para exposiciones por vía inhalatoria. No obstante, en algunos TLV de sustancias se hace referencia a la potencial aportación a la exposición total por vía dérmica, incluidos los ojos y las membranas mucosas, bien por contacto directo de la sustancia.

FLAMABILIDAD

Es el grado de susceptibilidad que tiene una sustancia para arder. Los gases inflamables o gases licuados de petróleo en los cuales una propagación de la flama se mueve a través de la nube hasta el punto de ignición (flash fire) forman nubes explosivas difíciles de mover por la acción del viento, ya que dicha mezcla resulta ser más pesada que el aire. La nube de gas alcanza sólo pocos metros de altura, y su principal amenaza para los seres humanos y los materiales situados en la zona flash es el incendio, considerándose que se encuentran envueltos en la flama, por lo que dichos seres fallecen y los materiales combustibles que alcanzan su punto de ignición arden.

Esta zona no posee un peligro significativo de radiación térmica fuera de la flama, ya que se lleva a cabo en una exposición muy corta de tiempo y consecuentemente, el efecto térmico a los alrededores es mínimo.



CORROSIVIDAD

Es la propiedad que tienen algunas sustancias de descomponer a otras, en función de la liberación de hidrógeno; es decir, existe una degradación de la materia cuando entra en contacto con ella. Se considera peligrosa una sustancia si tiene la capacidad de penetrar el acero con una densidad de un centímetro en un periodo de 24 hrs. Para efectos de fuga o derrame es peligrosa una sustancia con un pH menor de 2 o mayor de 12.

RADIACIÓN TÉRMICA

Es un proceso de transferencia de calor, que no requiere la presencia de un medio para ser transmitido, porque puede viajar a través del vacío absoluto, al compartir la misma naturaleza que la de la luz visible ordinaria. La energía radiante emitida por un gas es función del volumen, pudiendo ocasionar la ignición de material combustible.

EXPLOSIVIDAD

Es la capacidad que posee una sustancia de liberar una gran cantidad de energía de manera espontánea, por fuerte impacto o por reacción química cuando algunas de sus variables como presión o temperatura determinen este proceso.

Las sustancias explosivas producen dos clases de reacciones: violentas y luminosas, una de ellas comprende la inflamación de gases y la deflagración de líquidos y sólidos, y la otra las detonaciones donde la llama progresa en condiciones esencialmente isobáricas en toda la sustancia reactiva. La velocidad de propagación de una llama por mezclas gaseosas homogéneas varía desde unos cuantos centímetros hasta varios metros por segundo. En ondas de choque gaseosas la densidad no crece excesivamente, pero se pueden obtener presiones y temperaturas muy altas; cuando un gas después del paso de un choque se expande de manera adiabática hasta recobrar su volumen o presión original, como la compresión de choque no es reversible entonces dichas ondas disipan energía.



APÉNDICE C

GLOSARIO DE TÉRMINOS USADOS PARA ESTE TRABAJO

Accidente: Significa cualquier acontecimiento no planeado que implica una desviación intolerable sobre las condiciones de diseño de un sistema causando daño a las personas, al equipo, a los materiales y al medio ambiente.

Accidente menor: Es un acontecimiento no deseado que provoca daños leves a las personas, siendo necesaria la aplicación de primeros auxilios para que se incorporen nuevamente a sus actividades normales.

Accidente mayor: Cualquier suceso tal como una emisión, fuga, vertido, incendio o explosión que sea consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial y que pueda provocar una situación de gran riesgo, catástrofe o calamidad pública, inmediata o diferida, para las personas, para el medio ambiente y para los bienes propiedad de los accionistas, ya sea en el interior o en el exterior de las instalaciones, y en el que estén implicadas una o varias sustancias peligrosas.

Accidente químico: Liberación accidental de sustancias químicas peligrosas ocurrida durante su producción, transporte o manejo.

Aceite hidráulico: Transmite la potencia o fuerza fácilmente por ser poco compresible en un sistema hidráulico. El peso de un volumen de aceite varía de grado, como su viscosidad (espesor). Sin embargo, la mayoría del aceite hidráulico pesa de 55 a 58 libras por pie cúbico en porcentajes de operación normales.

Administración: Proceso que consiste en planear, coordinar, ejecutar y controlar esfuerzos, organizada y sistemáticamente para lograr un objetivo.

Administración de riesgos: Conjunto de procesos que incluye el análisis de los riesgos, la evaluación de su aceptabilidad, el establecimiento de medidas de prevención y control así como el seguimiento (auditoría) de los mismos.



Análisis de riesgos: Es una disciplina que combina la evaluación del proceso desde el punto de vista de la ingeniería con técnicas matemáticas que permiten realizar estimaciones de frecuencias / probabilidades y consecuencias de accidentes. Los resultados del análisis de riesgos pueden ser utilizados para la toma de decisiones (gerencia o administración de riesgos), ya sea mediante la jerarquía de las estrategias de reducción de riesgos o mediante la comparación con los niveles de riesgo fijados como objetivo en una determinada actividad.

Análisis de riesgos de procesos: Es un esfuerzo organizado para identificar, por medio de una serie de técnicas sistemáticas, las debilidades asociadas con el diseño u operación del proceso que podrían conducir a consecuencias indeseables (prejuicios personales o daños a equipos catastróficos) y determinar las medidas para controlar estos riesgos y eliminar o al menos mitigar sus consecuencias.

Análisis de Riesgos y Operabilidad (HAZOP): HAZOP (Hazard and Operability Analysis) quiere decir en castellano Análisis de Riesgos y Operabilidad. La palabra Riesgo viene de la palabra en inglés Risk y la palabra Peligro viene de la palabra en inglés Hazard. Con base a la explicación anterior, HAZOP debería traducirse como Análisis de Peligro y Operabilidad, sin embargo nosotros usaremos la palabra riesgo en lugar de peligro como se ha venido haciendo.

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 propuesta 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 o mitigación de dichas causas y consecuencias, y que además, semicuantifica los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias o 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.

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

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



Causa: Es la razón por la que se pueden producir desviaciones, es decir, es lo que hace que un incidente o accidente ocurra. En general, podemos ubicarlas en errores que se ligan a las políticas, administración y errores humanos.

Causa raíz: Es el origen real de un accidente. Es el evento, condición o acción subyacente (oculta), que tiene un lazo directo en la secuencia de eventos que condujeron a un accidente y que es posible de ser corregido.

Cavitación: Formación de una bolsa o burbuja de aire o vapor debido a una reducción en la presión de un fluido. El picado o el desgaste de la superficie es el resultado del colapso de la burbuja de vapor. La cavitación puede ocurrir en los sistemas hidráulicos como resultado de bajos niveles de aceite jalando aire hacia el sistema, produciendo pequeñas burbujas que se expanden explosivamente en la salida de la bomba, causando erosión del metal y ocasionalmente destrucción de la bomba.

Circuito: Se denomina circuito a la sección de una planta de proceso específica, la cual esta bien delimitada y tiene características dentro del mismo proceso bien definidas por equipos y por segmentos de tubería.

Clase: Es la prioridad asignada a las acciones recomendadas sobre la base del nivel de riesgos encontrado, apoyada en la matriz de riesgos.

Combustión: Es una reacción química en la que se libera energía a partir de la oxidación de un material. (Ver concepto del **Apéndice E**).

Consecuencia: Resultado de un evento no deseado, medido por sus efectos en los empleados, público en general, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria).

Corrosión: Es la causa general de la alteración y destrucción de la mayor parte de los materiales naturales o fabricados por el hombre.

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



Desastre: Una interrupción seria en el funcionamiento de una sociedad, causando vastas pérdidas a nivel humano, material o ambiental, suficientes para que la sociedad afectada no pueda salir adelante por sus propios medios.

Desviación: Son variaciones no deseadas en la intención de diseño (flujo, presión, temperatura, reacción, nivel, etc.) que se descubren mediante la aplicación sistemática de las palabras guía.

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

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

Elutriación: Es un método de separación de partículas donde el fluido se mueve en dirección contraria a la sedimentación de las partículas.

Emergencia: Situación o serie de circunstancias irregulares que se producen de manera súbita e imprevista, que puede originar daños a las personas, propiedad y/o ambiente y que demandan acción inmediata para minimizar sus consecuencias. Toda aquella situación de fuga, derrame, incendio la cual no puede ser controlada por la persona que lo detecta necesitando el auxilio superior o apoyo de personal especializado.

Escenario potencial: Es la relación de sucesos que tienen el riesgo potencial con probabilidad elevada de causar pérdidas.

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

Frecuencia: Es el número de incidentes o sucesos indeseables que se han observado en un lapso de tiempo dentro de la planta.



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

Gravedad: Son las consecuencias dañosas que puede tener un accidente dentro de la planta. Su nivel se asigna con ayuda del equipo multidisciplinario.

Incidente: 1. Implica cualquier acontecimiento con o sin daño a las personas, al ambiente o a la propiedad, en la que las circunstancias podrían haber sido más graves de mediar otras circunstancias. La investigación de los incidentes puede dar información valiosa para prevenir un accidente grave y evitar que este ocurra. 2. Suceso no planeado que pone en peligro la seguridad del ser humano (ya sean empleados y/o miembros de la sociedad), la ecología, las utilidades y/o producción de la compañía. 3. Liberación instantánea o continua de materia o energía.

Índice de riesgo: Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad. Índice de riesgo (pérdida / año) = Índice de frecuencia (accidente / año) x índice de gravedad (pérdida / accidente).

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

Interlocks: Son ubicados en calentadores a fuego directo y en los recipientes donde se requieran Válvulas de Aislamiento de Activación Remota (VAAR).

Límites de inflamabilidad: Los líquidos inflamables tienen una concentración mínima de vapor en el aire, por debajo de la cual no se produce la propagación de la llama en contacto con una fuente de ignición. Este es el Límite Inferior de Inflamabilidad (LII). Existe también una proporción máxima de vapor o gas en el aire, por sobre la cual no se produce la propagación de la llama. Este es el Límite Superior de Inflamabilidad (LSI).

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



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

Mantenimiento proactivo: Un tipo de Mantenimiento basado en aquellas condiciones que enfatizan la rutina de la detección y corrección de las condiciones de causas de falla que de otra manera podrían convertirse en una falla. Dichas causas de falla como alta contaminación de lubricante, alineación y balanceo son tal vez las más críticas.

Medida correctiva: Es la acción que reduce la probabilidad del riesgo identificado o mitiga sus efectos cuando dicho riesgo se transforma en accidente.

Mezcla explosiva: Es la mezcla de un comburente (producto oxidante) y de un combustible (producto oxidable) en proporciones tales que puedan dar lugar a una reacción de oxidación muy rápida y muy viva, liberando más energía de la que se disipa por conducción y convección. El comburente puede ser un gas (el oxígeno del aire), un líquido (peróxido) o un sólido (clorato, nitrato, etc.). El combustible puede ser un gas (hidrógeno, vapores de gasolina, etc.), un líquido (disolvente) o un sólido (azufre, madera, etc.). Todas las materias orgánicas son combustibles.

Mitigación: Conjunto de acciones para disminuir las consecuencias de un accidente.

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

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

Norma: Documento de observancia obligatoria.

Palabra guía: Indica la desviación parcial o total de la intención de la variable de proceso.

Parámetro: Es una manifestación física o química del proceso como el flujo, nivel, presión, temperatura, velocidad, composición, mezcla, punto de ignición, etc.



Peligro: Significa cualquier condición física ó química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad. Serie de eventos no planeados que da como resultado una consecuencia no deseada.

Pérdida: Significa un derroche innecesario de recursos.

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

Probabilidad: Es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es de 0 y la absoluta certeza es de 1.

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

Punto de ebullición: Temperatura a la cual un líquido cambia su estado a vapor.

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

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

Riesgo: Significa la posibilidad de sufrir pérdidas o bien se puede considerar como una medida de pérdida económica o daño a las personas, expresada en función de la probabilidad del suceso y la magnitud de las consecuencias.



Salvaguarda: Es una protección para evitar o disminuir los efectos de algún acontecimiento no deseado.

Siniestro: Suceso del que se derivan daños significativos a las personas o bienes, o deterioro del proceso de producción.

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

Vulnerabilidad: Facilidad con la que un sistema puede cambiar su estado normal a uno de desastre, por los impactos de una calamidad.

Zona de peligro: Entorno espacio-temporal, en el cual las personas o los bienes se encuentran en peligro.



APÉNDICE D

MODELO PARA EL CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL ÁRBOL DE FALLAS POR EL MÉTODO DE CONJUNTOS MÍNIMOS.

Los árboles de fallas se pueden reestructurar utilizando la técnica conocida como análisis de conjuntos mínimos (Minimal Cut Set Analysis) la cual consiste en eliminar los eventos básicos, secundarios e intermedios redundantes expresando las conexiones lógicas, Y y O, en términos del álgebra de Boole. Las reglas booleanas que se aplican con más frecuencia en el análisis de árbol de fallas se muestran a continuación:

REGLA	FORMA MATEMÁTICA
<u>Conmutativa:</u>	$A*B = B*A$ $A+B=B+A$
<u>Asociativa:</u>	$A*(B*C)=(A*B)*C$ $A+(B+C)=(A+B)+C$
<u>Distributiva:</u>	$A*(B+C)=A*B+A*C$ $A+(B*C)=(A+B)*(A+C)$
<u>Idempotente</u>	$A*A=A$ $A+A=A$
<u>De la Absorción:</u>	$A*(A+B)=A$ $A+(A*B)=A$

El procedimiento consiste en ordenar la estructura del árbol de fallas de forma que se pueda expresar en términos de ecuaciones algebraicas booleanas para reducir las ecuaciones, la reducción implica la introducción de los elementos inmediatamente relacionados con el evento que se está describiendo en la ecuación algebraica así entonces, la ecuación final quedara en términos de eventos básicos que serán posteriormente reestructurados en un nuevo árbol (árbol reducido) que es matemáticamente equivalente al primero.



Un árbol de fallas siempre puede describirse con una expresión equivalente del álgebra de Boole. Una parte importante del análisis FTA es la identificación de las agrupaciones de sucesos que pueden dar origen al evento culminante. Estas agrupaciones se denominan conjuntos de separación (cut sets), los conjuntos de separación identificados pueden manipularse con el fin de simplificarlos, reduciéndolos a una serie equivalente con un número menor de conjuntos que se denominan conjuntos mínimos (minimal cut sets). Un conjunto mínimo es aquel que no contiene otros conjuntos.

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

Teoría de conjuntos

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

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

Cálculo de la probabilidad

$$P = 1 - e^{(-ft)}$$

Donde:

f = eventos / año

t = años

En el caso de este cálculo la frecuencia de ocurrencia se puede obtener directamente de la experiencia vertida en el análisis HAZOP.

Existe también otra forma de obtener la probabilidad de ocurrencia del evento esta se obtiene de la experiencia profesional vertida por diferentes grupos y empresas, así como la encontrada en diferentes fuentes bibliográficas, en general el común denominador en estos casos esta representada por la siguiente tendencia a la asignación de probabilidades. Ver **Tabla 3.2.**



APÉNDICE E

TÉRMINOS USADOS EN EL ESTUDIO DE ACCIDENTES CON FUEGO

Atraque: Obstaculización o dificultad del recipiente o local en que tiene lugar un proceso explosivo, oposición a los gases producidos. Es función de la naturaleza del material del recipiente y de su hermetismo.

Bola de fuego: 1) Llamado también "**Fireball**" 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". **2)** Gases a muy alta temperatura que son generados de forma violenta, por una nube explosiva que tiene una concentración de vapores explosivos más o menos homogénea.

BLEVE (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion):1) Explosión de vapores en expansión de un líquido en ebullición, ocurre cuando en forma repentina se pierde el confinamiento de un recipiente que contiene un líquido sobrecalentado o uno licuado a presión. La causa inicial de un BLEVE es usualmente un fuego externo impactando sobre las paredes del recipiente sobre al 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. **2)** Explosión en la que participa un líquido hirviendo que se incorpora rápidamente a vapor en expansión. Se presenta cuando el líquido se encuentra por arriba de la temperatura de ebullición, causando una generación repentina de vapor, que al expandirse puede alcanzar su **temperatura de auto ignición**.

También puede presentarse cuando la emisión de la fuga es grande y ha transcurrido un lapso de tiempo relativamente amplio entre el inicio de la fuga y el inicio de la ignición y en incendios de recipientes con sustancias comprimidas por alta presión, ya sea debajo de ellos o por su costado, lo cual ocasiona que, la presión aumente y si hay válvula de alivio, esta abra. Si la zona interior del contenedor que no se encuentra en contacto con el líquido (zona seca) no es enfriada (ya que los vapores generados se expanden y producen energía), podría causarse un calentamiento del material del que esta hecho el recipiente y posteriormente un debilitamiento térmico del mismo. Una vez fatigado el material, este se colapsará, lo cual provocará que gran parte del líquido que se encontraba contenido, se evapore, produciendo una nube que al mezclarse repentinamente



con el aire se encenderá. Sus efectos térmicos por radiación son muy intensos y destructivos, ya que después que la mezcla de gases, combustible y comburente, es consumida de forma violenta, se genera una "**Bola de fuego**".

La sobrepresión que genera es muy pequeña.

Comburente: Materia o sustancia capaz de combinarse con un **combustible** para producir una mezcla que al encontrarse con una fuente de ignición comience una reacción de oxidación. Por lo general es oxígeno. En esta reacción el comburente hará el papel de receptor de electrones.

Combustible: Sustancia o material que, sin importar su estado físico (sólido, líquido o gaseoso), al generar vapores es capaz de ceder electrones en una reacción de oxidación, la cual sea iniciada por la presencia de un **comburente** y una fuente de ignición.

Combustibilidad: Propiedad necesaria para que una sustancia pueda combinarse con el oxígeno que se encuentra en la atmósfera generando grandes cantidades de energía a alta velocidad.

Combustión: Reacción química en la que la energía de oxidación generada es debida a una sustancia o material en específico. Reacción de transferencia electrónica en la que, el combustible es un donador de electrones y el comburente un receptor. La cantidad de energía que es producida se origina del paso de electrones a enlaces de mayor estabilidad.

Concentración de oxígeno mínimo para combustión: Concentración mínima necesaria para que se lleve a cabo la combustión de la mezcla de un comburente y una sustancia inflamable. Concentraciones menores a esta no generan energía suficiente como para que la reacción sea propagada por toda la mezcla. Principalmente es usada para visualizar las concentraciones necesarias del comburente (oxígeno) para iniciar una ignición, sin importar la cantidad de combustible que exista.

Dardo de Fuego (JET FIRE): 1) Explosión seguida por una flama de forma y velocidad tal que, se genera a partir de la expansión súbita del vapor o neblina producida por un líquido que escapa a alta presión. También es conocido como "Chorro de Fuego". **2)** 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 "chorro de fuego".

Deflagración: Tipo de explosión en la cual el frente de ignición viaja a una velocidad menor a la del sonido, generando una sobrepresión máxima del orden de las 15 psi o menor y la duración de la fase positiva es de 20 a 100 ms. Proceso de superficie relativamente lento y netamente químico.

Detonación: Tipo de explosión en la cual el frente de ignición viaja a una velocidad mayor a la del sonido y en donde el calor de la reacción es transmitido por Ondas Explosivas. También pueden ser generadas por una transición de deflagración, ocasionada por un proceso que acelere el frente de reacción (por ejemplo en tuberías). Las presiones que se generan son más altas que las de las **deflagraciones**, y sus efectos son más devastadores.

Efecto Dominó: Propagación de incendios o explosiones debida principalmente a un evento bien identificado (por ejemplo, la explosión de una esfera de almacenamiento de una planta de gas licuado) y la cual no puede ser interrumpida de forma inmediata. Propagación de fuego en los alrededores de un accidente previo.

Explosión: 1) Reacción de combustión de un gas o un vapor inflamable en la que el tiempo de ignición es tan corto que no da lugar a que el calor generado sea transmitido al medio ambiente por conductividad o por radiación, acumulándose en los gases producidos y llevándolos a un estado de energía cinética. Proceso a gran velocidad en el que un gas a alta presión tiende a equilibrarse con la presión de su entorno. El equilibrio se alcanza tan rápidamente que, la energía contenida en el gas a alta presión se disipa en forma de onda de choque. Aunque también es una reacción de oxidación, difiere de un **incendio** en el que la liberación de energía es de forma más lenta y menos violenta. Cuando la nube de vapor producida por la fuga de una sustancia líquida inflamable es homogénea y tiene una concentración que se encuentra dentro del rango de inflamabilidad, al encontrarse con un punto de ignición, o si la temperatura es la adecuada, al autoincinerarse, se formará una flama de forma esférica conocida como "Bola de fuego", la cual se propagará por toda la nube. La flama en expansión generará ondas de sobrepresión en la mezcla que falta de reaccionar, las cuales tienen velocidades similares a la del sonido. Cuando la velocidad del frente de reacción es muy alta, se generará una superposición frontal de ondas, lo que producirán ondas de choque. Debida a que la reacción es muy exotérmica, se origina un incremento súbito de la



temperatura y de la presión. La alta velocidad que se alcanza en la generación de "nuevas moléculas" (reacción química) que son mayores en número a las moléculas de reactivos, ocasiona que el aumento de presión local no se equilibre en forma lenta con la presión de los alrededores, algo que sí sucede en un incendio. Las **Explosiones** se clasifican en **deflagraciones** o **detonaciones** dependiendo de las velocidades relativas que tenga con respecto al sonido el frente de combustión de la mezcla que falta de consumir. Si es mayor, se considera una detonación. **2)** 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.

Explosiones de Nubes de Vapor Confinadas: 1) Ocurren cuando hay una combustión, descomposición térmica, reacción incontrolada, calentamiento extremo, sobrellenado o colisión, en recipientes de baja resistencia (edificios o silos) o en recipientes de proceso. Se originan principalmente en equipos o edificios que poseen características físicas que hacen que los vapores explosivos de algunas sustancias se "encierren". En caso de que exista un venteo adecuado, no habrá consecuencias que lamentar, sin embargo, si no lo hay, no se dará oportunidad a la nube explosiva de que se disperse y los efectos de radiación, térmicos, **sobrepresión** y la generación de proyectiles serán abundantes. También se presenta cuando es provocada la ruptura de algún recipiente o tubería por el aumento de presión, debido a una explosión en su interior, la velocidad de aumento de presión es mayor que la velocidad de ruptura del recipiente, por lo que la presión efectiva de ruptura estará comprendida entre la presión a la cual se sobrepasa la resistencia mecánica del recipiente y la presión máxima obtenida, si la explosión queda totalmente confinada. **2)** 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 no confinados.



En las **Tablas E1, E2, E2b y E3**, se relaciona la presión ejercida por una explosión y el área donde se presenta. Muestran los distintos efectos y daños ocasionados por una explosión en relación con las refinерías y las plantas de proceso.

PRESIÓN (PSIG)	EFFECTOS
0.02	Ruido molesto.
0.04	Ruptura de vidrios por efectos de onda acústica.
0.15	Presión típica para ruptura de vidrios.
0.30	"Distancia Segura". 0.95% de probabilidades de no sufrir daños personales. Límite de proyectiles. Algún daño a techos de casas. 10% de vidrios rotos.
0.5 – 1.0	Sacudidas en vidrios grandes. Daños ocasionales a marcos de ventanas.
0.70	Daños menores a las estructuras de las casas.
1.0	Demolición parcial de edificios haciéndolos inhabitables.
2.0	Colapso parcial de paredes y techos.
2.5	Demolición del 50% de los muros hechos a base de tabique.
3.0	Maquinaria pesada (1.5 Tons.) dentro de edificios sufren daños. Estructuras de acero distorsionadas y arrancadas desde los cimientos.
3 - 4	Edificios con estructuras ligeras demolidos completamente. Ruptura de tanques de almacenamiento tipo API 650.
5	Postes de suministro eléctrico arrancados.
6 - 7	Destrucción casi completa de casas.
7	Carros de ferrocarril volteados.
9.0	Vagones cargados de ferrocarril destruidos completamente.
10	Probable destrucción de todos los edificios. Máquinas pesadas (3.5 Tons.) desplazadas de su ubicación original y dañadas severamente.
300	Límite para la formación de un cráter.

Tabla E1. Daños físicos producidos por explosiones



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

Tabla E2. Daños producidos por explosiones dentro de refinerías y de plantas de proceso⁽²¹⁾



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

Tabla E2b. Daños producidos por explosiones dentro de Refinerías y de plantas de proceso⁽²¹⁾



EFECTOS EN PERSONAS	
BARs	
0.003	Ruido Fuerte (Aprox. 143 dB)
0.07	Personas derribadas
0.35	1% de probabilidad de ruptura de tímpano
0.43	50% de probabilidad de ruptura de tímpano
0.84	90% de probabilidad de ruptura de tímpano
1.00	1% de fatalidad por efectos de la explosión
1.40	50% de fatalidad por efectos de la explosión
1.75	90% de fatalidad por efectos de la explosión

Tabla E3. Efectos de sobrepresión en personas.

Explosión de nubes de vapor no confinadas (UVCE, Unconfined Vapor Cloud Explosion):

Se caracteriza por ser generada debido a una fuga en fase líquida de un material inflamable, mantenido por encima de su punto de ebullición a la presión atmosférica. La disminución repentina de presión se acompaña de una evaporación súbita (flash) de una fracción del líquido. La cantidad que se evapora es conocida como **Fracción Adiabática Teórica Vaporizada (FATV)**.

Este fenómeno es muy similar a las explosiones generadas por fugas donde existe líquido y vapor, sin embargo aquí, el líquido se encuentra a una temperatura menor que la de ebullición, evitando así que la explosión sea de menor magnitud.

Las condiciones posibles de las que depende son: (1) la reactividad del material involucrado, (2) algún factor que propicie la eficiente mezcla entre el vapor y el aire, específicamente con el oxígeno y (3) el tiempo transcurrido entre el inicio del escape y el inicio de la ignición. En varios estudios acerca de los materiales que han producido **UVCE's** se ha determinado que los vapores de productos inflamables que cuentan en su estructura molecular de dos a seis átomos de carbono han sido responsables de casi todos los casos de procesos explosivos, con preponderancia de los hidrocarburos con tres y cuatro átomos de carbono.

Explosión física: Es aquella que solo se presenta la fase gaseosa, solo se forman ondas de choque o la formación de proyectiles, sin que se produzca la ignición de la mezcla. Explosión que se origina sólo por elementos físicos donde no intervienen de forma directa los procesos químicos: ruptura de recipientes llenos de gases a alta presión, calderas de vapor, etc.



Explosión térmica: Son resultado de las reacciones químicas de tipo exotérmicas y transcurren bajo condiciones de confinamiento en los que se carece de medios apropiados para disipar el calor de reacción.

Explosión química: Son aquellas en donde la alta presión de los gases tiene por origen a una reacción química. En estas explosiones el gas o vapor combustible debe formar una mezcla con el aire dentro del intervalo de inflamabilidad y que tenga un lugar de ignición. A partir de aquí puede ocurrir una explosión de nube de vapor no confinada o un incendio de evaporación súbita (flash).

Explosivo: Sustancia o mezcla capaz de reaccionar de forma exotérmica en un tiempo muy breve, y con una eficiencia de reacción alta que produce en su mayoría gases, los cuales acumulan gran parte del calor generado, adquiriendo energía cinética a nivel molecular, capaz de ser transformada en trabajo mecánico. Estas sustancias se clasifican en propulsores (por ejemplo la pólvora) y en rompedores o explosivos (ciertas clases de materiales plásticos).

Flash: Producción de vapor a partir de un líquido contenido a presión que es expuesto repentinamente a una presión menor a la de su confinamiento.

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.

Fracción Adiabática Teórica Vaporizada (FATV): Fracción de un líquido que se ha fugado y que, por una disminución repentina de presión, se evapora. Se ve afectada principalmente por dos relaciones, depende de **(1)** la diferencia que exista entre las temperaturas del líquido antes de la fuga y su temperatura de ebullición, a la presión atmosférica y **(2)** la relación entre el calor específico del líquido y su calor latente de evaporación. Esta cantidad varía de 0 (cuando la diferencia es de cero) a 100% (cuando la temperatura del líquido es cercana a la temperatura y presión críticas).



Fuente o punto de ignición: Elemento que provee de la energía mínima necesaria para que comience la combustión de la mezcla combustible y comburente. Las más usuales dentro de la industria son superficies calientes, flamas de quemadores de desfogue, instalaciones y equipos eléctricos, "puntos calientes" (cigarrillos, flamas de encendedores y cerillos), etc.

Incendio: Es la combustión, de forma más o menos lenta, de grandes cantidades de un material, y por ser de forma incontrolada, ocasiona grandes pérdidas, ya sean humanas, materiales o ambas.

Incendios de gases o vapores en fuga: Su comportamiento es muy diferente al de los vapores que son originados por líquidos, pues al salir al ambiente, y debido a que generalmente se encuentran a presiones mucho mayores que la atmosférica, se genera turbulencia en la zona cercana a la fuga, lo cual ocasiona que el material fugado se mezcle con el aire. Si el gas en cuestión es ligero (con peso molecular menor o similar al del aire) la mezcla se elevará y se extenderá debido a la turbulencia. Para gases más pesados (como lo es el caso de los hidrocarburos), la mezcla se dispersará a nivel del suelo.

En caso de que se encuentre un **punto de ignición** se producirá una flama (algo muy común cuando la fuga es por algún orificio pequeño es que la ignición principia a los pocos segundos de comenzar la fuga). Cabe mencionar que en los incendios, en el proceso de generación de "nuevas moléculas" (reacción química), la velocidad de reacción da el suficiente tiempo para que la presión de la atmósfera equilibre el aumento de la presión que se genere por la reacción.

Incendios de líquidos fugados a alta presión: La fuga de un líquido a alta presión ocasiona que dicho líquido salga en forma de chorro, neblina o se atomice (formar gotas de dimensiones muy diminutas), lo cual, si encuentra en su camino una **fuentes de ignición**, produce un **JET FIRE**. Estos incendios suelen ser muy intensos y ocasionan llamas de gran longitud y de comportamiento incierto, lo cual puede materializarse en un evento de **efecto dominó**.

Incendios de superficies líquidas (POOL FIRES): 1) También se le conoce como "Albercas o charcas en llamas". Los incendios de líquidos tienen como causas esenciales fugas en uniones soldadas, empaques de bombas, rupturas de tuberías y contenedores, descargas deliberadas de equipos, tuberías y contenedores, etc. Debido a que ningún líquido arde, este tipo de incendios se debe a los vapores generados por el calor en el líquido que ha fugado. **2) 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".

Inflamabilidad: Es la mayor o menor facilidad con que una sustancia puede arder en el aire o en algún otro gas que puede servir como comburente. Propiedad de algunas sustancias para producir, a temperatura ambiente, una cantidad de vapores suficiente para generar a una nube que contenga una mezcla de ella misma con el aire. Cabe señalar que la palabra **inflamabilidad** proviene del latín *In*: dentro de, y *flamme*: arder o encender.

Límite de inflamabilidad: Límite que indica el rango de concentración del combustible, normalmente en porcentaje volumétrico. En esta concentración la mezcla combustible-comburente, se puede quemar. Debajo del **fracción adiabática teórica vaporizada (FATV)** la concentración no es la suficiente como para que la combustión sea propagada en toda la mezcla. Si la concentración es mayor al **límite superior de inflamabilidad (LSF)** la relación combustible y comburente es muy alta, por lo que tampoco habrá reacción de propagación, debido al exceso de combustible. Esto refleja como impacta la presión en este parámetro, pues al aumentar la presión, el LSF también crece. Si la presión alcanza un valor menor a 5 kPa, la flama no se propaga con facilidad.

Otro de los factores ambientales que impactan en estos rangos es la temperatura atmosférica, la cual al incrementarse o disminuir, aumenta o reduce el rango de inflamabilidad respectivamente. Para establecer los límites seguros se considera $\frac{1}{2}$ L.I.I.

Onda explosiva: Serie de etapas que deduce que una detonación se lleva a cabo por una explosión en la cual, las primeras moléculas gasificadas alcanzan una velocidad tan alta que no ceden por conductividad el calor que adquirieron al explosivo aún no gasificado, sino por impacto que lo deforma y lo calienta induciéndolo a que emita nuevos gases, y así, por choques que producen calor, calor que descompone al explosivo en productos que vuelven a chocar, se va transmitiendo el proceso. Estos choques entre moléculas afectan a toda la masa, en lugar de ser un fenómeno solo superficial, y la reacción química avanza como si fuera remolcada por fenómenos mecánicos.



Presión crítica: Presión requerida para obtener la licuefacción de un gas a cierta temperatura (temperatura crítica). Presión correspondiente a la cual las fases líquida y gaseosa de una sustancia tienen densidades muy similares.

Nube explosiva: Emisión masiva de vapores inflamables de un líquido, que de combinarse con un comburente y la presencia de una fuente de ignición o de conjuntarse las condiciones de autoignición, puede ocasionar una explosión.

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 e función inversa a la distancia que recorra. Los efectos tóxicos de exponerse a estos materiales dependen de la concentración del material e el aire y su toxicidad.

Sobrepresión: Aumento de presión en la presión atmosférica, generado por una explosión. Dependiendo de la magnitud de esta presión extra, se presentarán daños en personas, instalaciones o equipos (ver **Tablas E1, E2, E2b y E3.**)

Temperatura crítica: Temperatura más alta a la que una sustancia puede existir como líquido.

Temperatura de ignición: Es la temperatura menor a la que una sustancia sólida, líquida o gaseosa, entra en combustión y puede mantenerla.

Temperatura de inflamación instantánea (FLASH POINT): Temperatura mínima necesaria que ocasiona que una sustancia desprenda una cantidad suficiente de vapores para mantener una combustión en presencia de una **fuentes de ignición**. Sólo se aplica a líquidos estables en aire o a sólidos que se vaporizan antes de quemarse.

Ruptura de recipientes presurizados: La ruptura de un recipiente presurizado se puede deber a las causas siguientes: 1) Falla del equipo de regulación y alivio de presión, 2) Defectos de diseño o de construcción, 3) Reducción del espesor de pared debido a corrosión, erosión o ataque químico y 4) Reducción de la resistencia por calentamiento o sobre-enfriamiento. Durante la ruptura se libera la energía almacenada, lo que da lugar a la formación de la onda de choque y acelera la velocidad de los fragmentos del recipiente.



APÉNDICE F

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO DE MODIFICACIONES (REVAMP)

- I. La filosofía general del REVAMP es lograr el funcionamiento requerido con un mínimo de modificaciones.
- II. Los cuatro reactores y calentadores, así como las líneas de transferencia existentes se mantienen.
- III. Se adiciona un quinto calentador (BA-503) y un quinto reactor (DC-505) con un **Sistema de Regeneración Continua (U-200)**.
- IV. Los primeros cuatro reactores operarán para una severidad de 88 RONC, a fin de asegurar corridas de 24 meses como mínimo. En el quinto reactor se llevará el RONC del reformado hasta 98.
- V. Se adiciona una guarda de azufre (DC-510) en la alimentación a la reformadora (descarga de GA-405/RT).
- VI. Los enfriadores del efluente del reactor EC-501 y EA-502, permanecen sin cambio.
- VII. Con el fin de reducir la caída de presión en el circuito de hidrógeno de recirculación, solamente la producción de hidrógeno neto (el que va a la succión de los GB-502/R y a la red de G.C.) de la descarga del compresor GB-501, es recontactado con el reformado sin estabilizar.
- VIII. Después del recontacto con el líquido del separador FA-501 y de pasar a través de los enfriadores con agua existentes EA-503, la mezcla es posteriormente enfriada hasta 10 °C mediante los EA-509 (con reformado sin estabilizar de las GA-502/R) y el enfriador chiller EA-510. Esto es con el propósito de mejorar la recuperación de C5 y más pesados así como la pureza del gas rico en hidrógeno.
- IX. El gas de recirculación es enviado al precalentador de carga combinada PACKINOX EA-508. El EA-508 sustituye a los EA-501A/B ya que éstos proporcionaban solamente una recuperación de calor moderada del efluente del reactor. El intercambiador EA-508 está fabricado a base de placas soldadas y ofrece una recuperación de calor más eficiente.
- X. La presión en el separador FA-501 se reduce hasta 9.8 Kg/cm². Esta es la presión más baja compatible con el tiempo de ciclo de 24 meses requerido para los primeros cuatro reactores.
- XI. El compresor de recirculación GB-501 así como los compresores GB-502/R permanecen sin cambio.
- XII. Todo el equipo existente incluyendo la DA-501 ha sido verificado y es adecuado para las nuevas condiciones de servicio.

**APÉNDICE G****MÁS ACERCA DE LA REFINERÍA "MIGUEL HIDALGO" (24)****Sistemas de reciclaje**

Consciente de la necesidad de proteger el medio ambiente, ésta refinería ha implementado todo un sistema de protección ambiental, que va desde la construcción de plantas tratadoras de fluidos hasta un programa de cultura ecológica por parte de los trabajadores.

La regulación en materia ambiental requiere de un gran esfuerzo por parte de PEMEX, para lo cual se han instalado sistemas para reutilizar varios desechos, por ejemplo: los gases producto de la regeneración del catalizador de las plantas catalíticas son empleados en la producción de vapor de 60 kg/cm², evitando con esto enviar a la atmósfera gases a altas temperaturas.

Con objeto de contribuir a mantener las condiciones favorables de nuestro entorno, al mismo tiempo que se cumplen las normas ecológicas vigentes, la refinería cuenta con tres plantas recuperadoras de azufre con una capacidad total de 240 ton/día. La carga a estas plantas está formada por corrientes de gas ácido producido en plantas estabilizadoras, hidrodesulfuradoras y catalíticas. El azufre líquido es el producto principal del proceso catalítico al que es sometido el gas ácido.

La refinería cuenta con un sistema de tratamiento de efluentes acuosos con capacidad de 39,000 m³/día. Este sistema separa, por medios mecánicos, el poco aceite que se encuentra mezclado con el agua en el sistema de drenajes enviando el aceite recuperado a reproceso y el agua libre de aceite hacia las lagunas de oxidación y estabilización; lugar donde las demandas químicas y biológicas de oxígeno del agua son restituidas por la acción de varios aereadores.

Además se han implementado acciones para que el 20% del agua tratada en el sistema de efluentes se utilice en el riego de sus áreas verdes, el resto se canaliza a cuerpos receptores como el río Tula a los cuales no se afectan negativamente, ya que el agua cumple con las normas ecológicas NOM-003ECOL93.

Se cuenta con cuatro plantas tratadoras de aguas amargas. En estas plantas se eliminan impurezas



tales como ácido sulfhídrico y amoníaco, lo que permite que al agua sea reutilizada en procesos de desalado en las unidades de destilación atmosférica.

En 1996 se pusieron en marcha las plantas de Metil Terbutil Éter (MTBE) y de Teramil Metil Éter (TAME).

Siendo una de las refinerías más importantes del país, Tula capta el 75% del presupuesto total del programa denominado *paquete ecológico*. Las inversiones más recientes por parte de PEMEX en la refinería "Miguel Hidalgo" suman 753 millones de dólares, sólo en las siguientes plantas:

- Hidrodesulfuradora de destilados intermedios de 25,000 bpd.
- Complejo de H-Oil de 50,000 bpd.
- La planta de alquilación con 7,500 bpd de capacidad.
- Planta de isomerización con 15,000 bpd de capacidad instalada.

Aunado a anterior, se han invertido 2 millones de pesos en cada una de las membranas flotantes para tanques y terminales de ventas de la refinería, y 500,000 pesos en cada uno de los sistemas de llenado de autotanques y carrotanques por el fondo, de cada terminal.

La refinería de Tula provee de combustibles a la zona metropolitana de la ciudad de México, y dada esta situación se has puesto en marcha programas en favor del ambiente en colaboración con el gobierno del Distrito Federal y el estado de México. Cabe destacar la mejora de combustibles y la consecuente reducción de emisiones de hidrocarburos que se ha logrado en esta zona gracias a acciones como:

- Elaboración de diesel con bajo contenido de azufre.
- Suministro de gasolina sin plomo para vehículos con convertidor catalítico.
- Suministro de combustibles gaseosos de uso intensivo.
- Suspensión del uso del combustóleo en la zona metropolitana de la ciudad de México.
- Uso de compuestos oxigenados en la gasolina.
- Instalación de equipos para la recuperación de vapor.

El área de laboratorios cuenta con equipo de punta para el análisis de las diferentes gasolinas; cuya información permite, constantemente, mejorar la calidad de éstas.



Aunque falta mucho por hacer, en PEMEX consideramos un avance en la aplicación de la tecnología de punta, mejorando así los procesos de producción y los productos que ofrecemos al mercado mexicano.

Servicios auxiliares

Para dotar de los servicios auxiliares indispensables para los procesos de refinación tales como: agua, vapor, energía eléctrica y aire, la refinería cuenta con un sector de fuerza y servicios auxiliares.

El agua se obtiene de los pozos localizados a 8 km al norte de la refinería, en le área de Teocalco y en el área de Mangas. En el área de Teocalco se tienen pozos sumergibles y tanques de almacenamiento con bombas de rebombeo y en el área de Mangas se cuenta con cinco pozos periféricos, dos tanques de almacenamiento y cuatro bombas. Se conduce el líquido hasta cuatro tanques de almacenamiento de 174,000 m³ de capacidad total; de ahí se suministra agua a las torres de enfriamiento "como agua de reposición", y se provee a la red de agua potable y contraincendio de toda la refinería.

El agua cruda tiene su mayor utilización en la generación de vapor y para ello es enviada a las plantas desmineralizadoras , que operan mediante un proceso de intercambio iónico.

El agua y los condensados recuperados tratados, sirven como alimentación a cinco calderas, las cuales producen vapor motriz de alta presión.

El vapor de lata presión (60 kg/cm²) se emplea como fuerza motriz para generar energía eléctrica en tres turbogeneradores "distribuyéndola mediante 4 tableros y 17 subestaciones" que le permite a la refinería ser autosuficiente y en ocasiones contar con excedentes que se exportan a la comisión federal de electricidad.

La refinería cuenta con instalaciones para recuperar el condensado; cumpliendo así, con las medidas de racionalización dictadas por la comisión nacional de agua y abatiendo costos de producción.

Se cuenta con un sistema de compresores para abastecer las necesidades de aire.



Control químico

Para el control de calidad de materias primas, sustancias químicas, productos intermedios y terminados, se cuenta con laboratorios de control, gases, analítico y experimental.

En cuestión de control para obtener combustibles de lata calidad, se ha puesto a disposición del área de laboratorio el equipo más moderno para el análisis de las diferentes gasolinas. Se tienen equipos de cromatografía de gases, de fluorescencia de rayos-x y equipos de espectroscopia de absorción infrarroja, UV/VIS, de absorción atómica y de emisión atómica por plasma.

La labor de estas áreas es particularmente ya que se encargan de establecer las características de los productos que el mercado requiere, así como el cumplimiento de las regulaciones y normas ecológicas vigentes que influyen en todos los procesos de producción.

Almacenamiento

La refinería de Tula cuenta con dos zonas diferentes de almacenamiento, por un lado está toda la infraestructura especializada para almacenar los productos que entran o salen procesados de las plantas y por otro, toda un área destinada al almacenamiento de los materiales que sirven de apoyo para llevar a buen término el proceso de refinación.

Para el almacenamiento, manejo y distribución del petróleo crudo, productos intermedios y terminados, se cuenta con tanques verticales y tanques esféricos con capacidad suficiente. Se tienen también cuatro casas de bombas donde se controla al manejo y distribución de hidrocarburos.

Distribución

En la refinería se cuenta con un completo sistema de ductos que permiten un eficiente suministro de los combustibles.

Para el transporte de los combustibles por pipas o por tren se cuenta con un novedoso sistema de llenado de autotanques y carrotanques por el fondo, que optimiza el llenado reduciendo la emisión de gases.



El factor humano como medida de control

Se debe fortalecer el factor humano para que alcance su mayor desarrollo físico, psicológico e intelectual y así poder competir en un ambiente de alto rendimiento, recordándole que tiene a su cargo equipo de gran precisión que requiere de cuidados especiales y de una capacitación constante para operarlo de manera óptima.

Para un conocimiento real y un eficiente control de los procesos productivos, PEMEX imparte seminarios y cursos diseñados para las necesidades de los profesionales de cada una de las áreas de sus plantas.

Control estadístico

Como una medida de análisis, en la refinería, se emplean sistemas de conteo estadístico, que le permiten a los directivos conocer el desempeño de todos los factores que intervienen en la producción; así como también el uso de muestras y herramientas estadísticas para la proyección de las tendencias futuras.



APÉNDICE H

MÁS SOBRE SEGURIDAD

Las lecciones aprendidas de pérdidas de vidas y bienes materiales en los diferentes accidentes que han ocurrido a lo largo de los años han creado conciencia en industrias altamente peligrosas.

El sistema de permisos de trabajo debe ser rigurosamente aplicado, éste es la base de todo programa eficaz de seguridad, la auditoría rutinaria del sistema de permisos de trabajo, puede evitar la falta de comunicación entre mantenimiento y el personal de producción.

Un procedimiento para el manejo de cambio, exige un análisis detallado de los riesgos y poder ser modificada. Un **análisis de riesgos** del proceso puede identificar la necesidad de cambiar o reubicar equipo.

Las líneas de comunicación y autoridad en una emergencia deben ser claras, un plan de emergencia y desastres bien escrito, ensayado y claramente entendido puede ser la clave.

Simulacros regulares y supervisados, previstos e imprevistos pueden identificar fallas tanto de equipos como de falta de organización al realizarlos.

En conclusión, las instalaciones deben desarrollar, implementar y revisar un procedimiento global de seguridad que incluya:

- Un **análisis de riesgos** de proceso y revisión de los diseños.
- Imponer con rigor los procedimientos de permisos de trabajo.
- Dirección de los procedimientos de cambio y revisar modificaciones de equipos, proceso, operaciones y productores.
- Procedimiento de desactivación de emergencia.
- Procedimientos generales de emergencia.
- Sistema de comandos durante los accidentes: papeles, responsabilidades y líneas de autoridad bien definidas.
- Simulacros regulares de emergencia y evacuación.
- Simulacros para situaciones previstas e imprevistas.



APÉNDICE I

DIFERENTES PLANTAS QUE OPERAN EN LA REFINERÍA DE TULA ⁽²⁴⁾

PLANTA	SERVICIO	CAPACIDAD	PRODUCE
Planta de destilación combinada.	Obtención de productos refinados por destilación primaria. Se diseñó para crudo istmo de 32.04 API.	Por secciones: Destilación atmosférica, 160, 000 bpd de crudo. Destilación al vacío, 61,800 bpd de residuo primario.	Gas seco, gasolina primaria, turbosina, querosina, base PEMEX diesel, gasóleo pesado primario, gasóleo ligero de vacío, gasóleo pesado de vacío, residuo primario.
Planta reductora de viscosidad.	El objetivo de esta planta es abatir la viscosidad del residuo de vacío para la producción de combustóleo por medio de una desintegración térmica efectuada en dos hornos de reacción, con el consiguiente ahorro de diluentes.	41, 000 bpd de residuo de vacío.	Gas amargo, gasolina amarga, gasóleo, residuo reducido.
Planta de desintegración catalítica tipo FCC No.1.	Desintegrar por medio de calor y un catalizador los gasóleos de vacío (compuestos de alto peso molecular) para obtener diversos productos.	40, 000 bpd.	Gas ácido, gas seco, propano, propileno, butano-butileno, gasolina alto octano, aceite cíclico ligero, aceite decantado.



Planta recuperadora de azufre No.1.	Su objetivo es convertir el ácido sulfhídrico contenido en las corrientes gaseosas efluentes de las unidades de amina, en azufre.	160 toneladas por día.	
Planta de tratamiento de aguas amargas No.1.	Elimina el ácido sulfhídrico contenido en el agua de desecho. Para fines ecológicos el agua efluente es retornada a las plantas primarias para el desalado del crudo.	5, 148 bpd.	
Planta de tratamiento de aguas amargas No.2.	Elimina el ácido sulfhídrico contenido en el agua de desecho. Para fines ecológicos el agua efluente es retornada a las plantas primarias para el desalado del crudo.	11, 991 bpd.	
Planta hidrodesulfuradora de gasolina U-400-1.	La planta elimina el contenido de azufre, oxígeno, nitrógeno, cloro, metales y olefinas de la gasolina primaria mediante un proceso de hidrogenación catalítica.	36, 600 bpd.	Gas amargo, pentano, hexano, gasolina desulfurada con 0.5 ppm máximo de azufre, con un consumo de hidrógeno de 1.37 m ³ por barril carga.



Planta reformadora de gasolinas (nafta) U-500-1.	Su función es producir gasolina de alto octano (98) a partir de gasolina primaria previamente desulfurada, sometiéndola a alta presión y temperatura dentro de una serie de tres reactores de cama catalítica.	35, 000 bpd.	Gas seco, gas LP, gas amargo, gas licuado, gasolina desulfurada, pentanos e isohexano, el hidrógeno producido en la reacción es alimentado a las plantas hidrosulfuradoras de nafta y destilados intermedios.
Planta de tratamiento y fraccionamiento de hidrocarburos U-600-1.	La planta tiene una sección de tratamiento de líquidos y gases con amina y dos secciones de fraccionamiento: una para hidrocarburos ligeros y otra para pesados.	Fraccionamiento de ligeros 4492 bpd. Fraccionamiento de pesados 6558 bpd.	Gas seco, propano, isobutano, butano, isopentano, pentano, hexano, gas nafta, gas ácido, gasolvente, gasolina incolora.
Planta hidrosulfuradora de destilados intermedios U-700-1.	Su objetivo es eliminar los compuestos de azufre, oxígeno y nitrógeno de los destilados intermedios (turposina, querosina y diesel) mediante una hidrogenación catalítica.	25, 000 bpd.	Gas amargo, gasolina amarga, turposina desulfurada.



<p>Planta hidrodesulfuradora de destilados intermedios U-800-1.</p>	<p>Su objetivo es eliminar los compuestos de azufre, oxígeno y nitrógeno de los destilados intermedios (turbosina, querosina y diesel) mediante una hidrogenación catalítica.</p>	<p>25, 000 bpd.</p>	<p>Gas amargo, gasolina amarga, PEMEX diesel.</p>
<p>Planta de destilación primaria No.2.</p>	<p>Esta planta se creó para obtener productos refinados por destilación fraccionada. Su rendimiento es variable de acuerdo a la composición del aceite crudo.</p>	<p>165, 000 bpd de crudo.</p>	<p>Gas seco, gas licuado, gasolina, turbosina primaria, querosina primaria, base PEMEX diesel, residuo primario, gasóleo pesado primario.</p>
<p>Planta de destilación al alto vacío No.2.</p>	<p>Destilar residuo primario en una torre húmeda contando, además, con una inyección de vapor en el calentador a fuego directo. Rendimiento variable de acuerdo a la composición del aceite crudo.</p>	<p>90, 000 bpd de residuo primario.</p>	<p>Maximizando la extracción de gasolina; gasóleo ligero de vacío, gasóleo pesado de vacío, residuo de vacío.</p>



<p>Planta estabilizadora de gasolina No.1.</p>	<p>Su objetivo es separar el gas licuado y es gas seco de las naftas de despunte provenientes de las plantas de destilación primaria.</p>	<p>30, 000 bpd. Tratamiento oximer de gasolina 50, 000 bpd. Tratamiento de LPG con dietanolamina 4, 100 bpd.</p>	<p>Gas seco, gas licuado, gasolina estabilizada.</p>
<p>Planta estabilizadora de gasolina No.2.</p>	<p>Su objetivo es separar el gas licuado y es gas seco de las naftas de despunte provenientes de las plantas de destilación primaria.</p>	<p>30, 000 bpd. Tratamiento oximer de gasolina 50, 000 bpd. Tratamiento de LPG con dietanolamina 4, 100 bpd.</p>	<p>Gas seco, gas licuado, gasolina estabilizada.</p>
<p>Planta de tratamiento de aguas amargas No.3.</p>	<p>Elimina el ácido sulfhídrico contenido en el agua de desecho. Para fines ecológicos el agua efluente es retornada a las plantas primarias para el desalado del crudo.</p>	<p>13, 454 bpd.</p>	<p>Agua desflepada.</p>
<p>Planta hidrodesulfuradora de gasolina U-400-2.</p>	<p>La planta elimina el contenido de azufre, oxígeno, nitrógeno, cloro, metales y olefinas de la gasolina primaria mediante un proceso de hidrogenación catalítica.</p>	<p>36, 600 bpd.</p>	<p>Gas seco, pentano, hexano, gasolina desulfurada con 0.5 ppm máximo de azufre, con un consumo de hidrógeno de 1.37 m³ por barril carga.</p>



Planta reformadora de gasolinas (nafta) U-500-2.	Su función es producir gasolina de alto octano (98) a partir de gasolina primaria previamente desulfurada, sometiéndola a alta presión y temperatura dentro de una serie de tres reactores de cama catalítica.	30, 000 bpd.	Gas seco, gas licuado, gasolina reformada, pentanos e isohexano, el hidrógeno producido en la reacción es alimentado a las plantas hidrodesulfuradoras de nafta y destilados intermedios.
Planta de tratamiento y fraccionamiento de hidrocarburos U-600-2.	La planta tiene una sección de tratamiento de líquidos y gases con amina y dos secciones de fraccionamiento: una para hidrocarburos ligeros y otra para pesados.	Fraccionamiento de ligeros 4492 bpd. Fraccionamiento de pesados 6558 bpd.	Gas seco, propano, isobutano, butano, isopentano, pentano, hexano, gas nafta, gas ácido, gasolvente, gasolina incolora.
Planta hidrodesulfuradora de destilados intermedios U-700-1.	Su objetivo es eliminar los compuestos de azufre, oxígeno y nitrógeno de los destilados Intermedios (turbosina, querosina y diesel) mediante una hidrogenación catalítica.	25, 000 bpd.	Gas amargo, gasolina amarga PLOP, turbosina desulfurada.



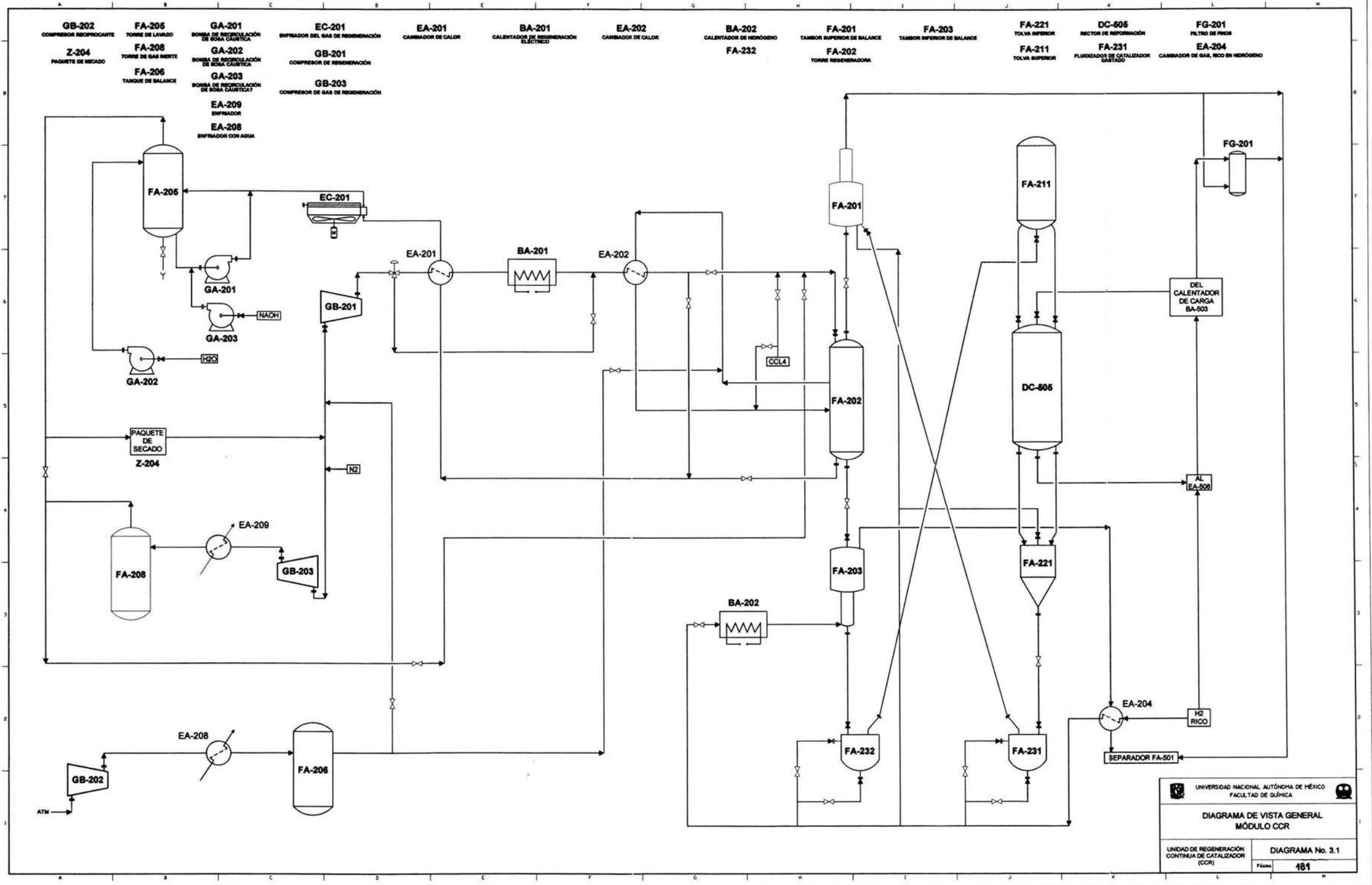
Planta hidrodesulfuradora de destilados intermedios U-800-2.	Su objetivo es eliminar los compuestos de azufre, oxígeno y nitrógeno de los destilados intermedios (turbosina, querosina y diesel) mediante una hidrogenación catalítica.	25, 000 bpd.	Gas seco, gasolina amarga PLOP, PEMEX diesel.
Planta hidrodesulfuradora de diesel profunda (HDD-5).	Desulfuriza el diesel reduciéndolo e cantidades muy bajas hasta del 0.05% en peso.	25, 000 bpd.	Pemex diesel con 0.05% de azufre.
Planta de isomerización de pentanos y hexanos.	Convierte los hidrocarburos, pentanos y hexanos de bajo octano en productos isomerizados de mayor índice de octano.	15, 000 bpd.	Isómero, gasolina de alto octano.
Planta recuperadora de azufre No.2.	Su objetivo es convertir el ácido sulfhídrico contenido en las corrientes gaseosas efuentes de las unidades de amina, en azufre.	45 toneladas por día.	Azufre.



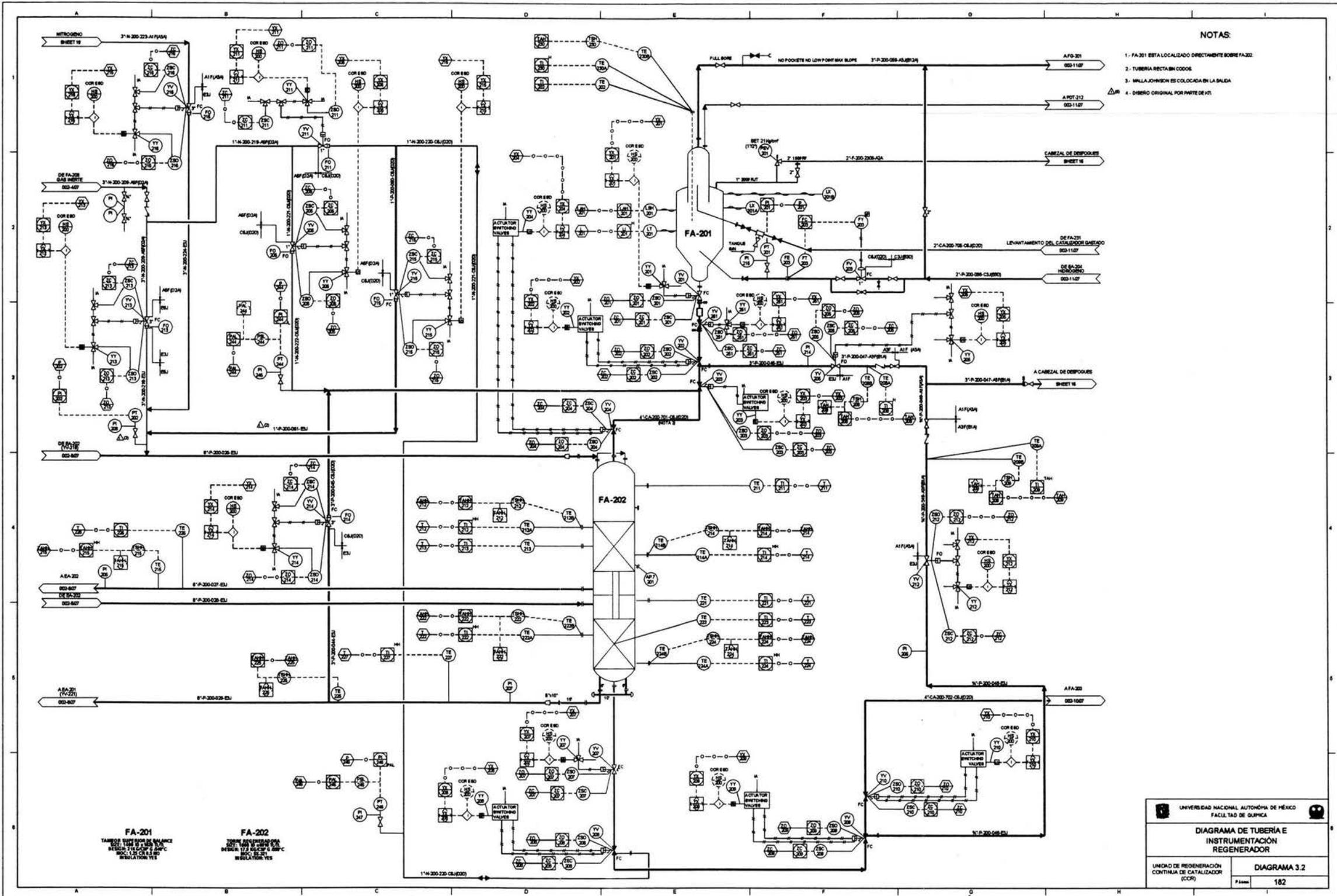
Planta de desintegración catalítica tipo FCC No.2.	Desintegrar por medio de calor y un catalizador los gasóleos de vacío (compuestos de alto peso molecular) para obtener diversos productos.	40, 000 bpd.	Gas ácido, gas seco, propano, propileno, butano-butileno, gasolina alto octano, aceite cíclico ligero, aceite decantado, fondos.
Planta de tratamiento de aguas amargas No.4.	Elimina el ácido sulfhídrico contenido en el agua de desecho. Para fines ecológicos el agua efluente es retornada a las plantas primarias para el desalado del crudo.	5, 369 bpd.	Agua desflepada.
Planta de Metil Terbutil Éter (MTBE).	Aprovecha el butano-butileno proveniente de la planta catalítica para producir gasolina oxigenada.	90, 000 ton/año.	Metil Terbutil Éter (MTBE), butano refinado, gasolina oxigenada.
Planta de Teramil Metil Éter (TAME).	Aprovecha los pentanos provenientes de la planta catalítica para producir gasolina oxigenada.	90, 000 ton/año.	Teramil Metil Éter (TAME), gasolinas oxigenadas libres de aromáticos y olefinas.



Planta de alquilación.	Aprovecha los gases licuados de la catalítica reaccionando las olefinas con el isobutano para producir una gasolina de alto índice de octano libre de olefina y compuesto aromático. Usada como base para la gasolina Premium.	7, 638 bpd.	Gasolina llamada alquilado.
Planta hidrodesulfuradora de residuales (HDR o H-OIL).	A través de catalizadores y temperatura transforma hidrocarburos pesados en compuestos ligeros.	50, 000 bpd.	Combustóleo con bajo contenido de azufre, diesel, querosina, gasolina, gas LP, gas combustible, azufre.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAGRAMA DE VISTA GENERAL MÓDULO CCR	
UNIDAD DE REGENERACIÓN CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR)	DIAGRAMA No. 3.1 Página 481



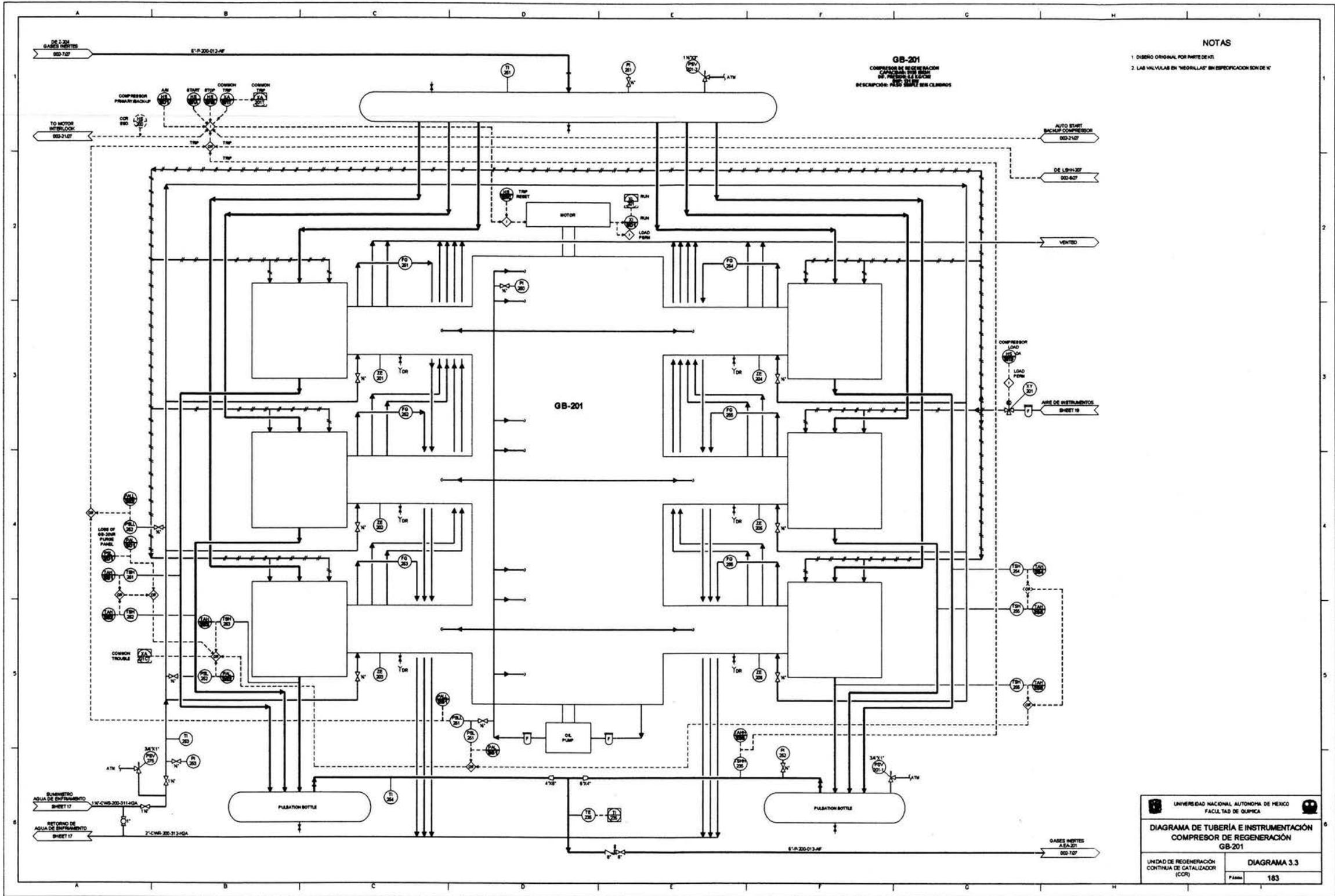
NOTAS:

1. FA-201 ESTA LOCALIZADO DIRECTAMENTE SOBRE FA-202
2. TUBERIA RECTA SIN CODICE
3. MALLA JOHNSON ES COLOCADA EN LA SALIDA
4. DISIBRO ORIGINAL POR PARTE DE HT

FA-201
TAMBORE SUPERIOR EN BARRICA
REG. 1000 8" X 10" X 1/2"
REG. 1100 8" X 10" X 1/2"
REG. 1200 8" X 10" X 1/2"
REG. 1300 8" X 10" X 1/2"
REG. 1400 8" X 10" X 1/2"
REG. 1500 8" X 10" X 1/2"
REG. 1600 8" X 10" X 1/2"
REG. 1700 8" X 10" X 1/2"
REG. 1800 8" X 10" X 1/2"
REG. 1900 8" X 10" X 1/2"
REG. 2000 8" X 10" X 1/2"
REG. 2100 8" X 10" X 1/2"
REG. 2200 8" X 10" X 1/2"
REG. 2300 8" X 10" X 1/2"
REG. 2400 8" X 10" X 1/2"
REG. 2500 8" X 10" X 1/2"
REG. 2600 8" X 10" X 1/2"
REG. 2700 8" X 10" X 1/2"
REG. 2800 8" X 10" X 1/2"
REG. 2900 8" X 10" X 1/2"
REG. 3000 8" X 10" X 1/2"
REG. 3100 8" X 10" X 1/2"
REG. 3200 8" X 10" X 1/2"
REG. 3300 8" X 10" X 1/2"
REG. 3400 8" X 10" X 1/2"
REG. 3500 8" X 10" X 1/2"
REG. 3600 8" X 10" X 1/2"
REG. 3700 8" X 10" X 1/2"
REG. 3800 8" X 10" X 1/2"
REG. 3900 8" X 10" X 1/2"
REG. 4000 8" X 10" X 1/2"
REG. 4100 8" X 10" X 1/2"
REG. 4200 8" X 10" X 1/2"
REG. 4300 8" X 10" X 1/2"
REG. 4400 8" X 10" X 1/2"
REG. 4500 8" X 10" X 1/2"
REG. 4600 8" X 10" X 1/2"
REG. 4700 8" X 10" X 1/2"
REG. 4800 8" X 10" X 1/2"
REG. 4900 8" X 10" X 1/2"
REG. 5000 8" X 10" X 1/2"
REG. 5100 8" X 10" X 1/2"
REG. 5200 8" X 10" X 1/2"
REG. 5300 8" X 10" X 1/2"
REG. 5400 8" X 10" X 1/2"
REG. 5500 8" X 10" X 1/2"
REG. 5600 8" X 10" X 1/2"
REG. 5700 8" X 10" X 1/2"
REG. 5800 8" X 10" X 1/2"
REG. 5900 8" X 10" X 1/2"
REG. 6000 8" X 10" X 1/2"
REG. 6100 8" X 10" X 1/2"
REG. 6200 8" X 10" X 1/2"
REG. 6300 8" X 10" X 1/2"
REG. 6400 8" X 10" X 1/2"
REG. 6500 8" X 10" X 1/2"
REG. 6600 8" X 10" X 1/2"
REG. 6700 8" X 10" X 1/2"
REG. 6800 8" X 10" X 1/2"
REG. 6900 8" X 10" X 1/2"
REG. 7000 8" X 10" X 1/2"
REG. 7100 8" X 10" X 1/2"
REG. 7200 8" X 10" X 1/2"
REG. 7300 8" X 10" X 1/2"
REG. 7400 8" X 10" X 1/2"
REG. 7500 8" X 10" X 1/2"
REG. 7600 8" X 10" X 1/2"
REG. 7700 8" X 10" X 1/2"
REG. 7800 8" X 10" X 1/2"
REG. 7900 8" X 10" X 1/2"
REG. 8000 8" X 10" X 1/2"
REG. 8100 8" X 10" X 1/2"
REG. 8200 8" X 10" X 1/2"
REG. 8300 8" X 10" X 1/2"
REG. 8400 8" X 10" X 1/2"
REG. 8500 8" X 10" X 1/2"
REG. 8600 8" X 10" X 1/2"
REG. 8700 8" X 10" X 1/2"
REG. 8800 8" X 10" X 1/2"
REG. 8900 8" X 10" X 1/2"
REG. 9000 8" X 10" X 1/2"
REG. 9100 8" X 10" X 1/2"
REG. 9200 8" X 10" X 1/2"
REG. 9300 8" X 10" X 1/2"
REG. 9400 8" X 10" X 1/2"
REG. 9500 8" X 10" X 1/2"
REG. 9600 8" X 10" X 1/2"
REG. 9700 8" X 10" X 1/2"
REG. 9800 8" X 10" X 1/2"
REG. 9900 8" X 10" X 1/2"
REG. 10000 8" X 10" X 1/2"

FA-202
TAMBORE SUPERIOR EN BARRICA
REG. 1000 8" X 10" X 1/2"
REG. 1100 8" X 10" X 1/2"
REG. 1200 8" X 10" X 1/2"
REG. 1300 8" X 10" X 1/2"
REG. 1400 8" X 10" X 1/2"
REG. 1500 8" X 10" X 1/2"
REG. 1600 8" X 10" X 1/2"
REG. 1700 8" X 10" X 1/2"
REG. 1800 8" X 10" X 1/2"
REG. 1900 8" X 10" X 1/2"
REG. 2000 8" X 10" X 1/2"
REG. 2100 8" X 10" X 1/2"
REG. 2200 8" X 10" X 1/2"
REG. 2300 8" X 10" X 1/2"
REG. 2400 8" X 10" X 1/2"
REG. 2500 8" X 10" X 1/2"
REG. 2600 8" X 10" X 1/2"
REG. 2700 8" X 10" X 1/2"
REG. 2800 8" X 10" X 1/2"
REG. 2900 8" X 10" X 1/2"
REG. 3000 8" X 10" X 1/2"
REG. 3100 8" X 10" X 1/2"
REG. 3200 8" X 10" X 1/2"
REG. 3300 8" X 10" X 1/2"
REG. 3400 8" X 10" X 1/2"
REG. 3500 8" X 10" X 1/2"
REG. 3600 8" X 10" X 1/2"
REG. 3700 8" X 10" X 1/2"
REG. 3800 8" X 10" X 1/2"
REG. 3900 8" X 10" X 1/2"
REG. 4000 8" X 10" X 1/2"
REG. 4100 8" X 10" X 1/2"
REG. 4200 8" X 10" X 1/2"
REG. 4300 8" X 10" X 1/2"
REG. 4400 8" X 10" X 1/2"
REG. 4500 8" X 10" X 1/2"
REG. 4600 8" X 10" X 1/2"
REG. 4700 8" X 10" X 1/2"
REG. 4800 8" X 10" X 1/2"
REG. 4900 8" X 10" X 1/2"
REG. 5000 8" X 10" X 1/2"
REG. 5100 8" X 10" X 1/2"
REG. 5200 8" X 10" X 1/2"
REG. 5300 8" X 10" X 1/2"
REG. 5400 8" X 10" X 1/2"
REG. 5500 8" X 10" X 1/2"
REG. 5600 8" X 10" X 1/2"
REG. 5700 8" X 10" X 1/2"
REG. 5800 8" X 10" X 1/2"
REG. 5900 8" X 10" X 1/2"
REG. 6000 8" X 10" X 1/2"
REG. 6100 8" X 10" X 1/2"
REG. 6200 8" X 10" X 1/2"
REG. 6300 8" X 10" X 1/2"
REG. 6400 8" X 10" X 1/2"
REG. 6500 8" X 10" X 1/2"
REG. 6600 8" X 10" X 1/2"
REG. 6700 8" X 10" X 1/2"
REG. 6800 8" X 10" X 1/2"
REG. 6900 8" X 10" X 1/2"
REG. 7000 8" X 10" X 1/2"
REG. 7100 8" X 10" X 1/2"
REG. 7200 8" X 10" X 1/2"
REG. 7300 8" X 10" X 1/2"
REG. 7400 8" X 10" X 1/2"
REG. 7500 8" X 10" X 1/2"
REG. 7600 8" X 10" X 1/2"
REG. 7700 8" X 10" X 1/2"
REG. 7800 8" X 10" X 1/2"
REG. 7900 8" X 10" X 1/2"
REG. 8000 8" X 10" X 1/2"
REG. 8100 8" X 10" X 1/2"
REG. 8200 8" X 10" X 1/2"
REG. 8300 8" X 10" X 1/2"
REG. 8400 8" X 10" X 1/2"
REG. 8500 8" X 10" X 1/2"
REG. 8600 8" X 10" X 1/2"
REG. 8700 8" X 10" X 1/2"
REG. 8800 8" X 10" X 1/2"
REG. 8900 8" X 10" X 1/2"
REG. 9000 8" X 10" X 1/2"
REG. 9100 8" X 10" X 1/2"
REG. 9200 8" X 10" X 1/2"
REG. 9300 8" X 10" X 1/2"
REG. 9400 8" X 10" X 1/2"
REG. 9500 8" X 10" X 1/2"
REG. 9600 8" X 10" X 1/2"
REG. 9700 8" X 10" X 1/2"
REG. 9800 8" X 10" X 1/2"
REG. 9900 8" X 10" X 1/2"
REG. 10000 8" X 10" X 1/2"

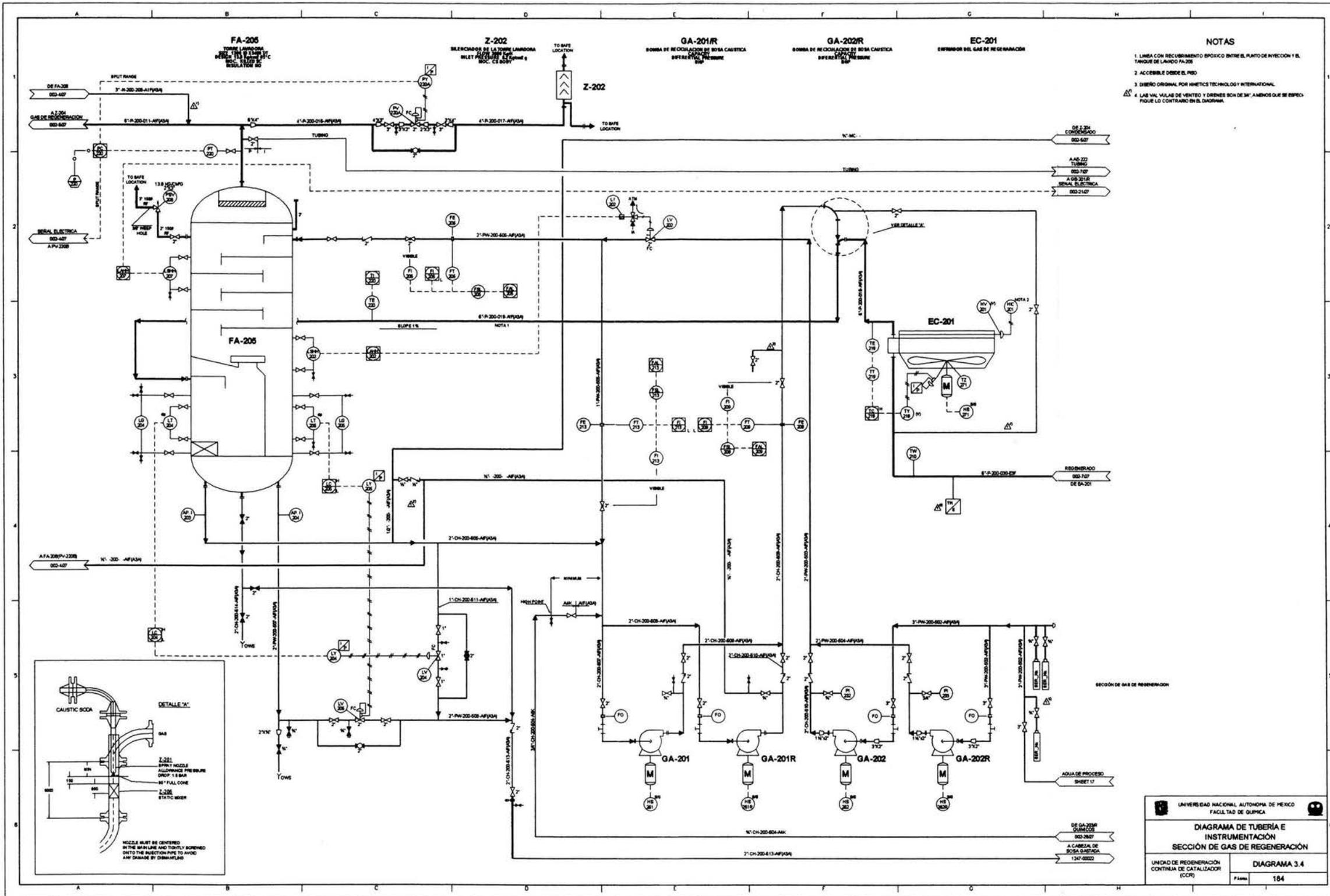
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN REGENERADOR	
UNIDAD DE REGENERACIÓN CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR)	DIAGRAMA 3.2
P. 162	162



NOTAS

1. DISEÑO ORIGINAL POR PARTE DE ICI.
2. LAS VALVULAS EN "MEDILLAS" SIN ESPECIFICACION SON DE 'N'

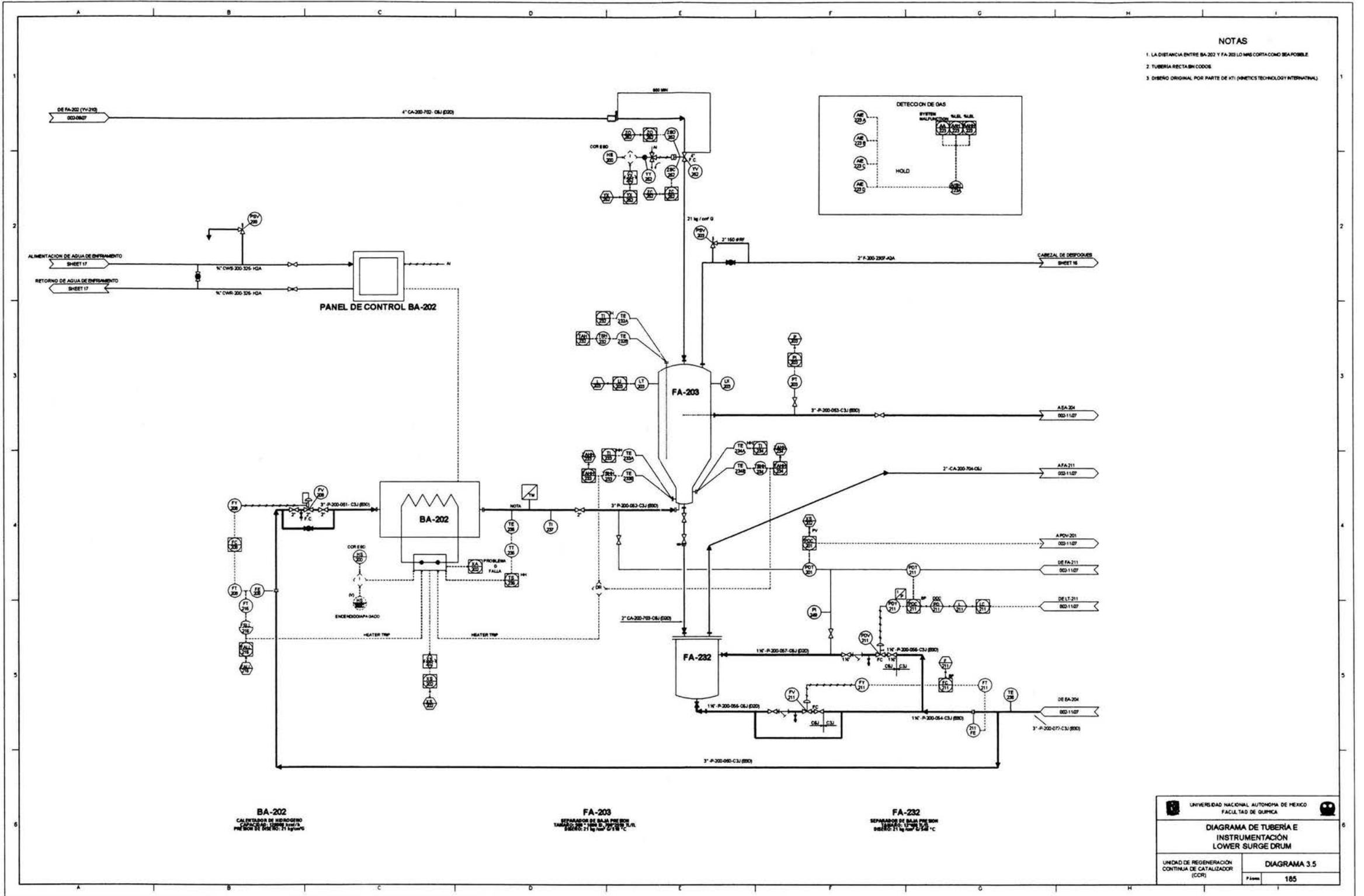
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN COMPRESOR DE REGENERACIÓN GB-201	
UNIDAD DE REGENERACIÓN CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR)	DIAGRAMA 3.3 P. 183



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN DE GAS DE REGENERACIÓN	
UNIDAD DE REGENERACIÓN CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR)	DIAGRAMA 3.4
P. 144	184

NOTAS

1. LA DISTANCIA ENTRE BA-202 Y FA-203 LO MAS CORTA COMO SEA POSIBLE
2. TUBERIA RECTA SIN CODOS
3. DISEÑO ORIGINAL POR PARTE DE KTI (KINETICS TECHNOLOGY INTERNATIONAL)

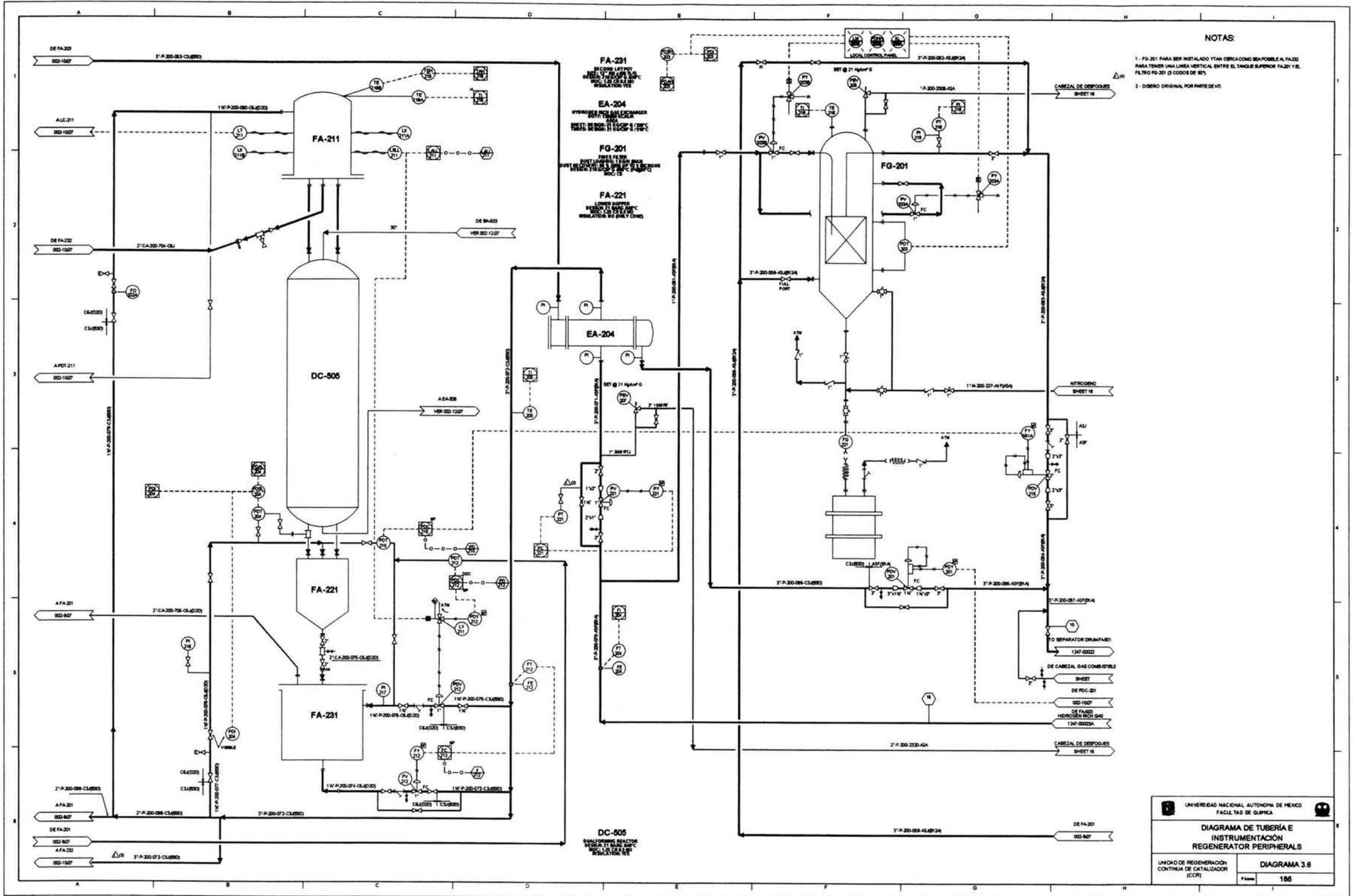


BA-202
CALENTADOR DE HIDROGENO
CAPACIDAD: 10000 L
PRESION DE OPERACION: 1.5 kg/cm² G

FA-203
SEPARADOR DE GASES PESADOS
TAMANO: 200" x 100" x 100" S.T.R.
EQUIPO: 21 kg/cm² G @ 150 °C

FA-232
SEPARADOR DE GASES PESADOS
TAMANO: 200" x 100" x 100" S.T.R.
EQUIPO: 21 kg/cm² G @ 150 °C

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO FACULTAD DE QUIMICA	
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION LOWER SURGE DRUM	
UNIDAD DE REGENERACION CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR)	DIAGRAMA 3.5
	Página 185



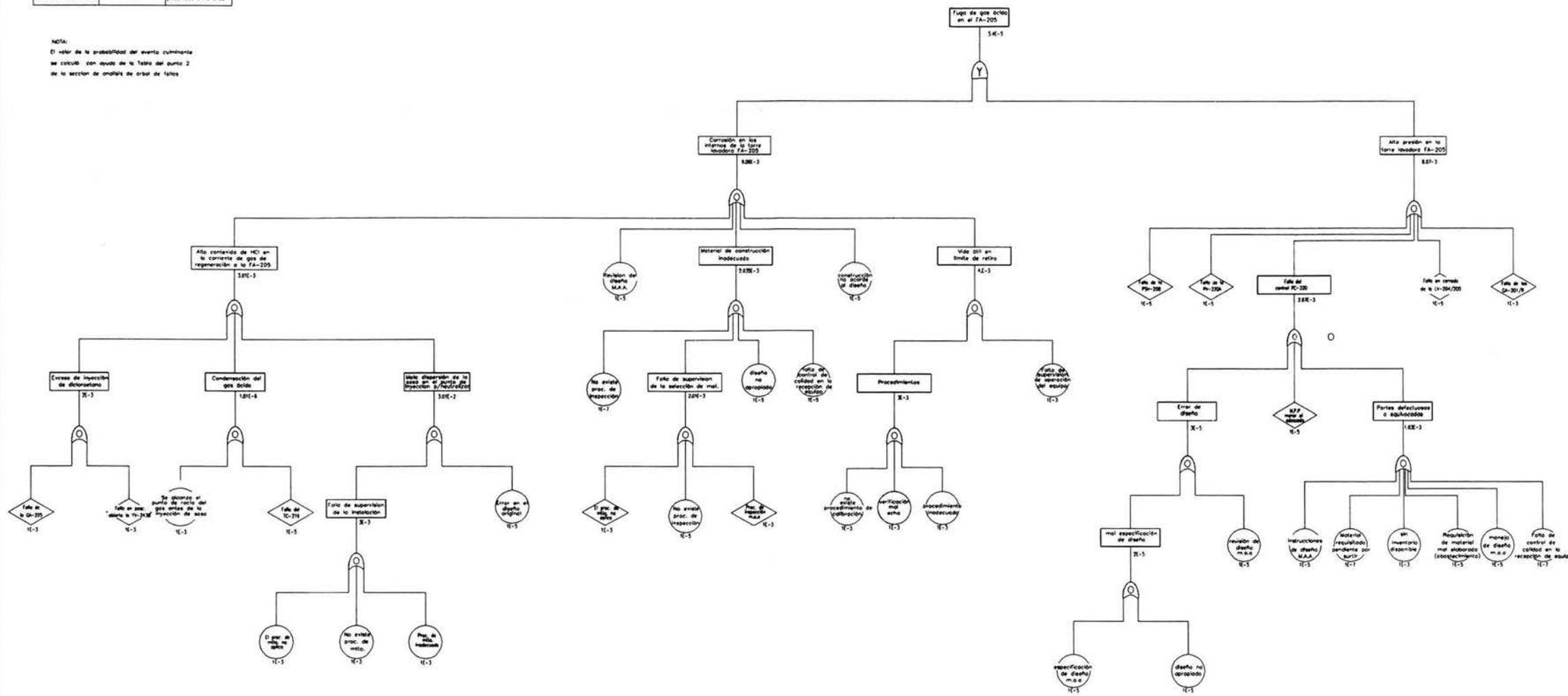
NOTAS:

- 1: FG-201 PARA SER INSTALADO Y TAN CERCA COMO SEA POSIBLE A FA-232 PARA TENER UNA LINEA VERTICAL ENTRE EL TANQUE SUPERIOR FA-201 Y EL FILTRO FG-201 (3 Codos de 90°).
- 2: DISEÑO ORIGINAL POR PARTE DE HTI.

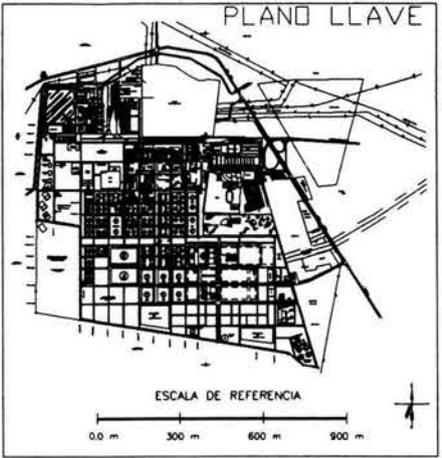
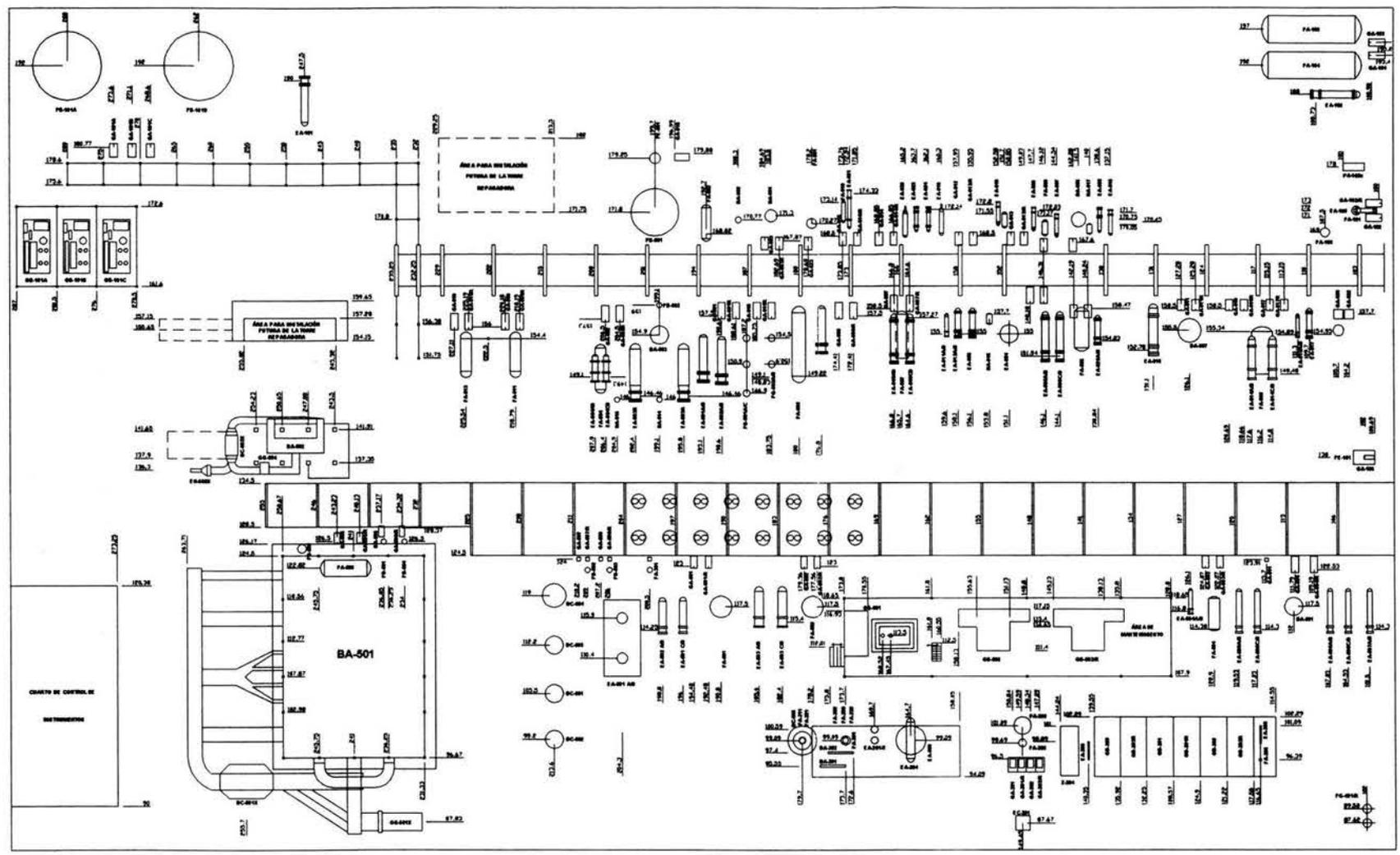
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE QUÍMICA	
DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN REGENERATOR PERIPHERALS	
UNIDAD DE REGENERACIÓN CONTINUA DE CATALIZADOR (CCR)	DIAGRAMA 3.6
PÁGINA	186

TABLA DE RESULTADOS		
EVENTO CLAVANTE	PROBABILIDAD	FRECUENCIA
Fuga de gas ácido en torre lavadora FA-205	54E-1	Poco probable no se ha presentado en 5 años

NOTA:
El valor de la probabilidad del evento culminante se calculó con datos de la Tabla del punto 2 de la sección de análisis de árbol de fallas.



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





BIBLIOGRAFÍA



**BIBLIOGRAFÍA**

- 1. Augusto E. Vera.** Estrategia y Experiencias de la Implantación del Sistema Integral para la Administración de la Seguridad Industrial. XXXVIII Convención Nacional, Oaxaca 98. Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos, A. C. Gerente Corporativo. Dirección Corporativa de Sistemas de Seguridad Industrial. Petróleos Mexicanos.
- 2. Jesús Zagal.** Memoria del simposio regional sobre preparativos para emergencias y desastres químicos: Un reto para el siglo XXI. Método de evaluación de riesgos en accidentes químicos. México DF., diciembre 1996.
- 3.** Control de riesgos de accidentes mayores, oficina internacional del trabajo ginebra., editorial alfa omega.
- 4. Gary, Handwerk.** Refinación de Petróleo, editorial Reverte, 1980.
- 5. Center for chemical process safety of the AICHE, technical management of chemical process safety.** New York, NY. 1989.
- 6. Santamaría Ramiro, J.M. y Braña A.** Análisis y reducción de riesgos en la industria química. Fundación MAPFRE. 1994.
- 7. Ramírez Maldonado, Reynaldo.** Análisis de Riesgos HAZOP, Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias del Circuito de Enfriamiento (propano) de una planta desparafinadora de aceites pesados.2002. Facultad de Química, UNAM. México.
- 8. Sánchez Vieyra Jesús.** Análisis de Riesgos en la sección de carga de una planta de izomerización. 2002. Facultad de Química, UNAM. México.
- 9. Malvaez Camacho, Alfredo A.** Análisis de Riesgos HAZOP, Análisis de Árbol de Fallas y Análisis de Consecuencias del Circuito de carga de una planta hidrodesulfuradora de naftas. 2001. Facultad de Química, UNAM. México.
- 10. Valencia Callejas, Francisco Javier.** Análisis de Riesgos en el área de almacenamiento de gas LP de la refinería Francisco I. Madero, de ciudad Madero Tamaulipas. 2001. Facultad de Química, UNAM. México.



11. Lees, Frank P. CCPS/AICHE. Guidelines for chemical process quantitative risk analysis; New York, 1989. Loss prevention in the process industries. 2nd Ed.; Vol. 3. Butterworth Heinemann. London.1996.
12. OSHA 1910.119, Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals. U.S. Department of Labor Regulations (STANDARDS- 29 CFR).
13. UNAM, Facultad de Química, taller de análisis de riesgos y operabilidad, México, 2002.
14. Curso de Administración Integral de Riesgos (AIR), UNAM, Facultad de Química, 2001.
15. Devenport S.A., "A Survey of Vapour Cloud Incidents", CEP, September 1977, pp. 54-62, 1977.
16. Fuente: DG-GPASI-IT-00229 "Manual de Análisis de riesgos".
17. Bufete de profesionales en seguridad industrial, S.A. de C.V. Taller de análisis de riesgos.
18. Manual de Diseño y Operación, Modificación de la Unidad Reformadora U-500 con adición de sección CCR, Julio 1994.Volumen I.
19. Fuente: Chemical Process Safety:Fundamentyls with Applications;Crowl/Louvar; Prentice Hall, 1990
20. Agentes perturbadores de Origen Químico - ATLAS ESTATAL DE RIESGOS. Dirección de Protección Civil del Estado de México. 2001. Edo. de México, México.
21. "Safety and Safety Codes", Vol. I, y "Loss Prevention in the Process Industries", Vols.1-2).
22. Análisis de riesgos de procesos (ARP): Un esquema de mejora de la técnica "HazOp". Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ) 15(2): 49-60, 2000.
23. UNAM, Facultad de Química, Curso de Análisis de Incidentes, México, 2004.
24. Revista de PEMEX refinación, refinería Miguel Hidalgo.