

50521  
41



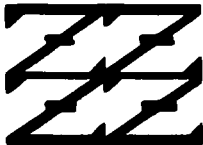
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO**

---

**FES "ZARAGOZA"**

**ANALISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA  
DE HIDROGENO**

**T E S I S**  
**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:**  
**INGENIERO QUIMICO**  
**P R E S E N T A :**  
**BRAULIO CESAR MARRON ARRIOLA**



**MEXICO, D. F.**

**2003**

**A**



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.

# PAGINACIÓN DISCONTINUA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



**FACULTAD DE ESTUDIOS  
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA  
DE INGENIERIA QUIMICA**

**OFICIO: FESZ/JCIQ/087/02**

**ASUNTO: Asignación de Jurado**

**ALUMNO: MARRON ARRIOLA BRAULIO CESAR**  
**P r e s e n t e .**

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

<b>Presidente:</b>	<b>I.Q. Eduardo Vázquez Zamora</b>
<b>Vocal:</b>	<b>Dr. Modesto Javier Cruz Gómez</b>
<b>Secretario:</b>	<b>I.Q. Gonzalo Rafael Coello García</b>
<b>Suplente:</b>	<b>I.Q. José Benjamín Rangel Granados</b>
<b>Suplente:</b>	<b>M. en C. Néstor Noé López Castillo</b>

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

**A t e n t a m e n t e**  
**“POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU”**  
México, D. F., 5 de Diciembre de 2002

**EL JEFE DE LA CARRERA**

**M. en C. ANDRES AQUINO CANCHOLA**



*AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIAS*

*A mis Padres Braulio Marrón Zaragoza y María Concepción Arriola Mercado por darme su apoyo, amor y comprensión en todo momento, gracias por su confianza, ustedes saben que sin su apoyo este paso no lo hubiera dado gracias los amo.*

*A mis Hermanos Ubaldo Marrón Arriola y María Eugenia Marrón Arriola por creer en mí y ser parte fundamental en mi vida, mil gracias los amo.*

*A mi novia Blanca Zila Pérez González por haberme ayudado en todo momento con su amor y cariño incondicional mil gracias chiquita, Te Amo.*

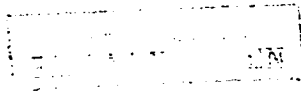
*A la Máxima Casa de Estudios "Universidad Nacional Autónoma de México", por haberme concedido el Honor de forjarme en sus aulas y así obtener el título de Ingeniero Químico.*

*A todos los profesores de la FEI "Zaragoza" por compartir sus conocimientos y experiencias conmigo, especialmente a los profesores Francisco Silva, Carlos Martínez, Eduardo Vázquez, Alejandro Rogel, Rafael Coello, Eduardo Valero, Benjamín Rangel, Noé López, Gustavo Varela, Gabriel Cruz y Francisco Mandujano.*

*A la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Posa" y a todo su personal por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.*

*Al Dr. Modesto Javier Cruz Gómez por haberme brindado la oportunidad de participar en este proyecto.*

*A los Ingenieros Néstor Noé López Castillo, Ramón García Pineda Mario A. Sorce y Marco A. González por el apoyo brindado para la realización del presente trabajo.*

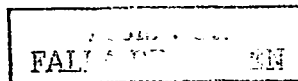


*A todos mis amigos de la FEP "Zaragoza" con los que compartí momentos inolvidables, Alfonso, Lisselle, Victor, Lourdes, Blanca, Raymundo, Lalo, Carmelo, Maribel, Jazmin, Roberto, Baby, Arlette, Carlos, Adriana, Luis, Hugo, Jorge, Tania, etc...*

*Al club de los Palanes y al Escuadrón de la Muerte: Pedro (El Mañas), Martín (Chateco), Andrés (La Doña), Sergio (Madame Le Huacarie), José Luis (El Masitas), Gabriel (El Gato), Ricardo (Perappy), Arturo (El Cusco), Eredino (Papier), Blas (Mijo), Julio (La Plama), Menodoro (El Tío), Daniel (El Barney), Néctor (El Fossy), Eliseo (El mimoso), Víctor (El Pelos), Félix, Bucles, Daniel (El Home), Paul, El May, etc...*

*A todos mis compañeros del C.E.A.P.P.A y Laboratorio E-212, gracias por brindarme su amistad, Antonio, Fermín, Sonia, Carlos, Jesús, Orlando, Paul, Hugo, Arturo, Eduardo, Jessica, Javier, Rita, Abraham, Oscar, Ricardo, Alejandro, José de Jesús, Ramón, Claudia, Fernando, Nita, Miriam, Milleria, Angel, Aldo, Fanny, Felipe, Erick, Néstor, Jahaziel, Columba, Raúl, Cristina, Hugo, Alfredo, Edgar, Susana, Nicandro, Paola, José, Daniel, Esmeralda, Ana, Kochill, Adriana y Reynaldo.*

Febrero del 2003



**ÍNDICE**

<b>LISTA DE ABREVIATURAS.....</b>	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>v</b>

**CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

1.1	JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.....	1
1.2	IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS COMO PARTE DE LA FORMACIÓN DEL INGENIERO QUÍMICO.....	2
1.3	OBJETIVO.....	3
1.4	ETAPAS DEL PROYECTO.....	4

**CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

2.1	ORIGEN DE LOS ANALISIS DE RIESGOS.....	6
2.1.1	Evolución de los Análisis de Riesgos.....	6
2.2	LEYES Y REGLAMENTOS REGULADORES DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS.....	8
2.2.1	Ley Federal del Trabajo.....	9
2.2.2	Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.....	9
2.2.3	Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).....	10
2.2.4	Reglamento de trabajos petroleros, disposiciones generales.....	11
2.3	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.....	12
2.4	TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.....	13
2.4.1	ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD "HazOp"	13
2.4.1.1	Metodología del Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp".....	15
2.4.1.2	Matriz de Riesgos.....	19
2.4.2	ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.....	23
2.4.2.1	Metodología del Árbol de Fallas.....	26
2.4.2.2	Resolución de las compuertas lógicas.....	29
2.4.3	ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	29
2.4.3.1	Clasificación de los materiales de acuerdo a su inflamabilidad.....	31
2.4.3.2	Clasificación de los líquidos de acuerdo a la NOM-105-STPS-1994, Seguridad-Tecnología del Fuego.....	32
2.4.3.3	Incendios.....	32
2.4.3.4	Fugas de gases.....	33
2.4.3.5	Explosiones.....	34
2.4.3.6	Bleve.....	36



2.4.3.7	Explosiones Internas en Equipos.....	36
2.4.3.8	Derrames de Líquidos Tóxicos.....	37
2.4.3.9	Fugas de Gases Tóxicos.....	38
2.4.3.10	Efecto Dominó.....	38

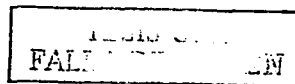
### **CAPÍTULO III. TRABAJO DE CAMPO**

3.1	SELECCIÓN DEL CIRCUITO.....	39
3.2	DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO "PLANTA DE HIDRÓGENO"...	40
3.3	CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS NODOS.....	52
3.4	NODOS SELECCIONADOS.....	52
3.5	HOJAS DE REGISTRO DEL ANÁLISIS HAZOP EN LA PLANTA DE HIDRÓGENO.....	54
3.6	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS.....	93
3.7	RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	94

### **CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4.1	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD "HAZOP".....	101
4.2	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.....	106
4.3	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.....	108

<b>APÉNDICE A "DIAGRAMAS DE LA PLANTA DE HIDRÓGENO"</b> .....	110
<b>APÉNDICE B "TABLA DE PROBABILIDADES DE OCURRENCIA UTILIZADAS EN EL ÁRBOL DE FALLAS"</b> .....	114
<b>GLOSARIO</b> .....	115
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	120



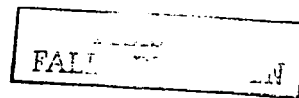




---

**LISTA DE ABREVIATURAS**

<b>AAF</b>	Análisis de Árbol de Fallas.
<b>AC</b>	Análisis de Consecuencias
<b>AF</b>	Árbol de Fallas
<b>AIA</b>	Asociación Americana de Seguros (American Insurance Association)
<b>API</b>	Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute)
<b>DFP</b>	Diagrama de Flujo de Proceso
<b>DTI</b>	Diagrama de Tubería e Instrumentación
<b>EC</b>	Evento Culminante
<b>HazOp</b>	Análisis de Riesgos y Operabilidad (Hazard and Operability)
<b>ID</b>	Índice Dow
<b>IM</b>	Índice Mond
<b>LGEEPA</b>	Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente
<b>LII</b>	Límite Inferior de Inflamabilidad
<b>LPRL</b>	Ley de Protección de Riesgos Laborales
<b>LSI</b>	Límite Superior de Inflamabilidad
<b>NFPA</b>	Agencia Nacional de Protección de Incendio (National Fire, Protection Agency)
<b>OSHA</b>	Agencia de la Salud y Seguridad Ocupacional (Occupational Safety & Health Administration)
<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos
<b>PROFEPA</b>	Procuraduría Federal de Protección al Ambiente
<b>SIASPA</b>	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y la Protección Ambiental
<b>What-If</b>	Que pasa si





---

**ÍNDICE DE TABLAS**

<b>2.1</b>	Palabras guía para el análisis HazOp y su significado.....	17
<b>2.2</b>	Parámetros de proceso comunes en un análisis HazOp.....	17
<b>2.3</b>	Frecuencias.....	21
<b>2.4</b>	Gravedades.....	22
<b>2.5</b>	Símbolos empleados en la realización de un Árbol de Fallas.....	24
<b>3.1</b>	Niveles de Radiación.....	95
<b>3.2</b>	Datos Requeridos por el Phast 6.0.....	96
<b>3.3</b>	Radios de Afectación.....	96

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>2.1</b>	Diagrama de flujo de la Técnica "HazOp".....	16
<b>2.2</b>	Matriz de Riesgos.....	21
<b>2.3</b>	Matriz de Clases de Riesgos.....	23



## RESUMEN

Como sabemos PEMEX es una empresa paraestatal, y también es uno de los pilares más grandes de nuestra economía, en un esfuerzo para contribuir en el cuidado del medio ambiente y la seguridad, la industria petrolera de nuestro país ha creado organismos que vigilan el buen funcionamiento de las diferentes plantas que hay en las refinerías, más específicamente, SIASPA (Sistema Integral de Administración de Seguridad y Protección Ambiental) se fundó con la finalidad de atacar las causas de raíz de los incidentes que se han presentado en las últimas décadas en estos sectores, y de esta manera evitar que se vuelvan a presentar.

El SIASPA esta constituido por 18 elementos y el elemento número 12 esta enfocado a los Análisis de Riesgos.

El objetivo principal de los Análisis de Riesgos es mejorar la confiabilidad de las instalaciones de proceso al identificar eventos que pudieran dar como resultado la liberación de materiales peligrosos o energía a la atmósfera, paros no deseados en las plantas o problemas de operación que pudieran resultar en situaciones catastróficas.

Es importante señalar que este tipo de estudios ha adquirido mayor importancia debido a que la normatividad en nuestro país y a nivel internacional, en materia ambiental, ha cambiado en las últimas dos décadas.



Esto ha obligado al gobierno de México a implementar acciones específicas para llevar a cabo la evaluación del riesgo ambiental de los proyectos o actividades que conllevan un elevado potencial de afectación en su entorno en caso de accidente.

Por lo anteriormente señalado, los Análisis de Riesgos se deben de elaborar cada determinado tiempo. En particular, el Análisis de Riesgos que se realizó en esta tesis es para una planta de Hidrógeno (Hidros II) de una de las refinerías más automatizadas del país ya que esta cuenta con tecnología de punta la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa" ubicada en Cadereyta de Jiménez Nuevo León.

Por otro lado, las industrias en general han adoptado esas medidas; ya que la seguridad no solo implica que las instalaciones sean adecuadas, sino que lleva consigo toda una ideología transmitida a los empleados para que se cree una conciencia laboral y así asumir una actitud de eficiencia, no solo para el beneficio de la empresa sino por el beneficio propio.

En el presente trabajo de tesis se llevo a cabo el análisis de riesgos en la Planta de Hidrógeno, y a partir de aquí se seleccionó al reformador con vapor para hacerse un análisis de consecuencias suponiendo como evento culminante el incendio en el reformador con vapor BA-900, también se simuló en el Phast 6.0 el evento conocido como Jet Fire, esto se hizo porque es el reformador con vapor uno de los equipos más críticos de esta planta, ya que este reformador con vapor trabaja a una temperatura mayor a los 620 °C y maneja hidrógeno.

A partir del análisis HazOp se obtuvieron una serie de recomendaciones las cuales están reportadas en el capítulo IV de esta tesis.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

TESIS CON  
FALLA EN EN

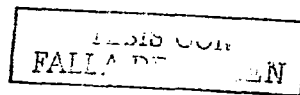


## CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

### 1.1 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO.

Todas las instalaciones de los procesos de la industria química están sujetas a riesgos no controlados que pueden poner en peligro las instalaciones, la integridad física de los trabajadores y del medio ambiente, existen estrategias de seguridad que permiten minimizar los riesgos, pero no anularlos y siempre existirá la posibilidad de que pueda ocurrir una emergencia, debido a operaciones incorrectas, fenómenos naturales o conflictos socio-organizativos, para solucionar este problema se requiere realizar un análisis de riesgos para que se puedan minimizar y/o controlar las consecuencias derivadas de daños asociados a factores como fallas en los sistemas de control, los sistemas mecánicos, factores humanos, fallas en el sistema de administración, factores externos como fenómenos naturales y sociales. Lo importante en la prevención es formar una actitud personal responsable de la operación de una planta que permita responder adecuadamente y en el momento oportuno aunque no siempre es posible proponerse una meta definida en materia de prevención de accidentes, es opinión generalizada que la mayor parte de ellos pueda evitarse y hay que perseverar hasta hacer cada lugar de trabajo un lugar seguro.

La industria del petróleo, es una de las más importantes a nivel mundial, y ha requerido una mayor modernización en su tecnología para cumplir con los estándares internacionales de calidad, seguridad y protección al medio ambiente, los cuales continuamente se están desarrollando debido a la imperante necesidad de minimizar eventos indeseables.





La implementación de programas de seguridad y prevención de riesgos se ha convertido en una práctica indispensable en las refinerías mexicanas, gracias a los cuales, las plantas del Sistema Nacional de Refinerías (SNR), además de mantener actualizados sus propios cambios de campo les permite reducir o eliminar los riesgos laborales y de operación.

Por tal motivo en Petróleos Mexicanos se ha implementado un programa de seguridad integral que les permite llevar a cabo estudios de análisis de riesgos en las plantas más críticas de sus refinerías, lo cual ha resultado un ejercicio efectivo y rentable.

El estudio se realizó con la finalidad de encontrar áreas de oportunidad que permitan mejorar la seguridad en la planta Hidros II, específicamente en la Planta de Hidrógeno.

## **1.2 IMPORTANCIA DEL ANÁLISIS DE RIESGOS COMO PARTE DE LA FORMACIÓN DEL INGENIERO QUÍMICO.**

El concepto de Análisis de Riesgos ha ampliado la definición de las responsabilidades del profesional de la industria química y en especial con el ingeniero químico que incluyen el garantizar seguridad y protección a los trabajadores de las plantas y a la comunidad.

Aunque los técnicos de la industria en todo el mundo han adquirido durante el ejercicio de su profesión los conocimientos de la seguridad industrial necesarios, muchos de ellos no han tenido la oportunidad de recibir una formación estructurada en Análisis de Riesgos. Como consecuencia, muchas Universidades han impulsado en las carreras de Química e Ingeniería Química la adaptación de materias de seguridad industrial.



Esta tesis pretende, con el trabajo realizado, dar énfasis a que cualquier tipo de industria evalúe los riesgos a los que están expuestos sus trabajadores que laboran en ella y además señalar que la asignatura de Seguridad Industrial es indispensable para la formación del alumnado de la carrera de Ingeniería Química.

### **1.3 OBJETIVO.**

Llevar acabo un estudio de Análisis de Riesgos en la Planta de Hidrógeno U-3 (Hidros II), mediante las técnicas de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp" (Hazard and Operability), Análisis de Árbol de Fallas "AF" (Fault Tree Analysis, FTA) y Análisis de Consecuencias "AC" (Consequences Analysis, CA) para:

- a) Identificar y evaluar los riesgos en la planta.
- b) Proponer las medidas necesarias que permitan contribuir con la mejora de la seguridad y la prevención de incidentes y accidentes.
- c) Realizar una lista jerárquica de riesgos y recomendaciones para su utilización por parte del personal de la Refinería en el establecimiento de un plan de trabajo.





---

## **1.4 ETAPAS DEL PROYECTO.**

El análisis de riesgos en la planta Hidros II (Planta de Hidrógeno) se llevó a cabo durante el período de Febrero a Agosto de 2002. Para la realización de este proyecto se siguió el siguiente programa:

### **1.- Recopilación de Información.**

La información técnica que se recopiló, previo al análisis, fue la siguiente:

- 1.- Descripción de la planta (Manuales de Operación, Diagramas de Flujo de Proceso "DFPs" y Diagramas de Tubería e Instrumentación "DTIs").
- 2.- Características de los equipos y productos almacenados.
- 3.- Registros de calibración, pruebas e incidentes.

Así mismo, previo al análisis se llevo a cabo el levantamiento en campo y la actualización de los DTIs, así como los DFPs y de localización de equipos. Estos diagramas son clave para realizar el Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp".

### **2.- Realización del Análisis "HazOp".**

En esta segunda etapa se conformó el equipo multidisciplinario de trabajo para la realización de las sesiones de Análisis HazOp, se seleccionaron los circuitos a analizar, se estimaron los riesgos encontrados y se emitieron recomendaciones para eliminar ó reducir estos riesgos y/o mitigar sus consecuencias. Para lo último se utilizó el software HazOp-UNAM con la finalidad de registrar los resultados del análisis aplicado.



### **3.- Análisis de resultados del "HazOp".**

En esta etapa se realizó el análisis de los resultados obtenidos en el punto anterior para obtener, como resultado, una lista jerárquica de los riesgos con sus respectivas recomendaciones.

### **4.- Análisis de Árbol de Fallas "AF".**

Para esta parte del proyecto se seleccionó un evento culminante, al cual se le aplicará un análisis cuantitativo de riesgos y así se estimará la probabilidad de que este ocurra.

### **5.- Análisis de Consecuencias "AC".**

En esta última etapa también se seleccionó un escenario potencial de accidente con el fin de determinar su efecto.



## CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO



---

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

### **2.1 ORIGEN DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS.**

A partir de los accidentes/incidentes ocurridos en la industria química a nivel mundial surgió la necesidad de evaluar el riesgo potencial de ocurrencia, así como la búsqueda para la minimización de dichos riesgos o la reducción de las consecuencias; fue así como se dio origen al Análisis de Riesgos.

En México no fue, sino hasta 1992 y después de la explosión ocurrida en Guadalajara, Jalisco; cuando a través del decreto presidencial se estableció la necesidad de elaborar Análisis de Riesgos, a la industria con alto potencial de riesgo dentro de sus procesos. Posteriormente se ha hecho extensiva esta determinación al total de la industria Mexicana.

#### **2.1.1 Evolución de los Análisis de Riesgos.**

1920.- Aparición de las primeras metodologías. La compañía Dupont en Francia, decide "Analizar los Accidentes", de sus plantas de dinamita.

1960.- Se desarrolla la metodología conocida como "Análisis de Efectos y Modos de Falla", la cual es una formalización del método ¿What if..?, ya empleado, por algunas industrias de proceso. Esta formalización es realizada por la Industria Aeroespacial de E.U.A.

1962.- Se desarrolla la metodología "Árbol de Fallas", por la misma industria Aeroespacial, el cual es complementado por la industria Nuclear de E.U.A.



---

1985.- La Chemical Manufacturers Association (CMA) establece las metodologías de análisis de riesgos, existentes en el mercado de E.U.A. HazOp, Check List, Hazan, Dow Index & ICI Mond Index.

1986.- CCPA (Asociación de Productores Químicos de Canadá), adopta el proceso CAER (Comunity Awareness & Emergency Response).

1988.- CMA de E.U.A. adopta el proceso CAER como marco normativo sobre los códigos de seguridad, que deben observar todos los socios.

1989.- SEDESOL México, emite la "Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente". En cuyo capítulo de impacto ambiental solicita estudios de riesgo, a todo proyecto a registrarse y que maneje materiales o procesos que puedan afectar al ambiente o a la comunidad.

1990.- SEDESOL emite el primer listado de actividades altamente riesgosas.

1990.- OSHA publica "Process Safety Management of Highly Hazardous Chemicals", Diario oficial de julio 17, incorpora los estudios de riesgos como un requisito oficial de todo proyecto e instalación química en E.U.A.

1992.- Debido a la explosión ocurrida en Guadalajara, Jalisco. En todo México se iniciaron las auditorias ecológicas de las empresas potencialmente más riesgosas, incluyendo los análisis de riesgos de sus procesos.

1992.- SEDESOL el 4 de mayo, emite el segundo listado de Actividades Altamente Riesgosas.

1992.- SEDESOL emite las guías de información básica que deben suministrar las plantas que realicen:



- \*Auditorías ecológicas.
- \*Estudios de impacto ambiental
- \*Estudios de riesgo.

1993.- ANIQ de México, en su foro anual precedido por Salinas de Gortari, adopta el código de prácticas de Responsabilidad Integral, el cual está actualmente en desarrollo y será condición de su observancia, para ser miembro de la asociación.

1998.- PEMEX establece el Sistema Integral de la Seguridad y la Protección Ambiental (SIASPA). En donde en uno de sus elementos el doce incluye los análisis de riesgo en todos sus procesos de transformación.

## **2.2 LEYES Y REGLAMENTOS REGULADORES DE LOS ANÁLISIS DE RIESGOS.**

Dada la densidad y complejidad de la industria petrolera no es posible circunscribir las instalaciones que presentan los riesgos a ciertos sectores de actividad industrial. Sin embargo, las instalaciones con mayor riesgo están relacionadas con las siguientes actividades:

- A) Factores de productos químicos y refinados.
- B) Almacenamiento y distribución de gas licuado de petróleo.

La industria química en general ha respondido a las demandas de la sociedad, lo que ha dado origen a la aparición de programas de gestión medioambiental y de seguridad que se va extendiendo paulatinamente a la mayor parte de estas. La calidad de vida que la sociedad percibe ya no se asocia sólo al nivel de los productos y servicios accesibles, sino también a la seguridad de las industrias que lo producen.



---

**2.2.1 Ley Federal del Trabajo.**

Capítulo sexto

Titulo noveno.- Riesgos de trabajo.

El artículo 504 trata sobre los riesgos de trabajo que puede presentar un trabajador en el desarrollo de cierta actividad dentro de su centro de trabajo. Si el trabajador sufre algún accidente se debe dar aviso escrito a la Secretaría del Trabajo y Previsión Social, al de trabajo inspector del trabajo y a la Junta de Conciliación permanente o a la de Conciliación y Arbitraje, dentro de las 72 horas siguientes.

**2.2.2 Reglamento Federal de Seguridad, Higiene y Medio Ambiente de Trabajo.**

Capítulo sexto

Manejo, transporte y almacenamiento de materiales en general, materiales y sustancias químicas peligrosas.

Deberá realizarse en condiciones técnicas de seguridad para prevenir y evitar daños a la vida y a la salud de los trabajadores, así como al centro de trabajo, de acuerdo a las disposiciones del presente capítulo.

Las instalaciones y áreas de trabajo en las que se manejen, transporten y almacenen materiales y sustancias químicas peligrosas, deberán contar con las características necesarias para operar en condiciones de seguridad e higiene. Será responsabilidad del patrón realizar un estudio para analizar el riesgo potencial de dichos materiales y sustancias químicas, a fin de establecer las medidas de control pertinentes, de acuerdo a las normas correspondientes.



## Capítulo segundo

### Prevención, protección y combate de incendios

En los centros de trabajo se deberá contar con medidas de prevención y protección, así como con sistemas y equipos para el combate de incendios, en función al tipo y grado de riesgo que entrañe la naturaleza de la actividad, de acuerdo con las normas respectivas.

## Capítulo tercero

### Sustancias químicas contaminantes sólidas, líquidas o gaseosas.

En su artículo 82 dice que en los centros de trabajo donde se utilicen sustancias químicas sólidas, líquidas o gaseosas, que debido a los procesos, operaciones, características físico-químicas y grado de riesgo, sean capaces de contaminar el medio ambiente de trabajo y alterar la salud de los trabajadores, el patrón estará obligado a establecer las medidas de seguridad e higiene que señalen las normas respectivas.

### **2.2.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA).**

Define específicamente que un estudio de impacto ambiental (EIA) es realizado para identificar e interpretar así como para prevenir las consecuencias o efectos ambientales que determinadas acciones, planes, programas o proyectos pueden causar sobre la salud, el bienestar de las comunidades.

Título cuarto.- Protección al ambiente.

Capítulo IV. Actividades consideradas como riesgosas.

---





Según el artículo 147 todas aquellas personas que realicen actividades industriales, comerciales o de servicios altamente riesgosas, se llevarán a cabo con apego a lo dispuesto por esta ley, las disposiciones reglamentarias que de ella emanen y las normas oficiales mexicanas a que se refiere el artículo anterior.

Quienes realicen actividades altamente riesgosas, en los términos del reglamento correspondiente, deberán formular y presentar a la secretaría un estudio de riesgo ambiental, así como someter a la aprobación de dicha dependencia y de las secretarías de gobernación, de energía, secretaría de economía, de salud y del trabajo y previsión social, los programas para la prevención de accidentes en la realización de tales actividades, que puedan causar graves desequilibrios ecológicos.

#### **2.2.4 Reglamento de trabajos petroleros, disposiciones generales.**

En el artículo 29 se habla sobre el propósito de cuidar los intereses de la nación en materia de explotación petrolera, el organismo tiene la obligación de informar por la vía más rápida a la dirección o a la agencia respectiva, inmediatamente que ocurra algún accidente en sus instalaciones, se registren desperdicios de hidrocarburos en general, o se afecte la extracción de los mismos a fin de que la dependencia correspondiente disponga un servicio especial de inspección para determinar el monto del desperdicio y la culpabilidad del organismo aviso similar se dará a la secretaría de salud cuando en cualquier forma se afecte la ecología o se contamine el ambiente, para que actúe según sus atribuciones.



---

### 2.3 TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE RIESGOS.

---

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 mejorar su operabilidad.

La identificación de riesgos es el paso más importante del análisis, puesto que cualquier riesgo no identificado no puede ser objeto de estudio y se vuelve un riesgo incontrolable.

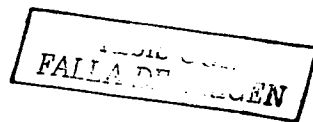
Las Técnicas de identificación de riesgos se dividen en las siguientes categorías:

#### **Métodos Comparativos**

Los métodos comparativos se utilizan para evaluar la seguridad de una instalación por medio de la experiencia adquirida en operaciones previas a la compañía o en organizaciones externas a la misma.

Para ello se requiere de la siguiente información.

1. Códigos, Estándares y Normas (CEN)
2. Lista de Comprobación, CheckList (CL)
3. Análisis Histórico de Accidentes (AHA)
4. Revisiones de seguridad (RS)
5. Auditorías de Seguridad (AS)



#### **Índices de Riesgo o Clasificación Relativa**

Los índices de riesgo proporcionan un método directo de estimar el riesgo global asociado con una unidad de proceso, así como de jerarquizar las unidades en cuanto a su nivel general de riesgo. Están diseñados para



proporcionar una calificación relativa con relación a una escala determinada para una instalación de proceso.

1. Índice Dow (ID)
2. Índice Mond (IM)

### **Métodos Generalizados**

Estas técnicas o métodos sirven para identificar problemas de seguridad y la diferencia en elegir uno u otro radica prácticamente en que unos son más estructurados que otros.

1. Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp)
2. Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA)
3. Análisis de Árbol de Fallas (FTA)
- 4 Análisis de Árbol de Sucesos (ETA)
5. Análisis "WHAT-IF"
6. Análisis de Causa-Efecto (ACE)
7. Análisis de Confiabilidad Humana (ACH)
8. Análisis de Consecuencias (AC)

## **2.4 TÉCNICAS UTILIZADAS EN EL ESTUDIO.**

### **2.4.1 ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD "HazOp".**

Un estudio HazOp sirve para identificar problemas de seguridad en una planta y también es útil para mejorar su operabilidad. La suposición implícita del método HazOp es que los peligros y problemas de operabilidad aparecen solo como consecuencia de desviaciones de las condiciones de operación normales de un sistema dado, en cualquiera de las diferentes etapas del proyecto: arranque, operación continua o por lotes, paro de la planta etcétera.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



El proceso consiste en evaluar, ya sea línea por línea o recipiente por recipiente, las consecuencias de posibles desviaciones de las condiciones de operación de un proceso continuo o en las secuencias de operación de un proceso por lotes. Este método ha sido empleado por más de veinticinco años y se puede considerar firmemente establecido.

El método HazOp se fundamenta en los siguientes dos puntos:

**El carácter sistemático del análisis:**

Se realiza un examen el cual consiste en la aplicación sucesiva de palabras guías, con el objeto de proveer un procedimiento razonado, capaz de facilitar la identificación de desviaciones, así como el análisis de sus causas, consecuencias y posibles correcciones, llevando un registro ordenado de los resultados del análisis.

**Su naturaleza multidisciplinaria:**

El análisis HazOp es aplicado por un equipo integrado por profesionales de diferentes disciplinas, provenientes de dentro y fuera de la compañía en cuestión. El método se fundamenta en el principio de que los profesionales con diferentes experiencias y entrenamiento pueden interactuar mejor e identificar más problemas cuando trabajan juntos que cuando trabajan separados y combinan sus resultados al final. Los diferentes acercamientos al problema son los que hacen del HazOp una herramienta que estimula la generación de ideas. Para lograr todo esto, es necesario que los integrantes del equipo expongan sus ideas libremente, evitando el criticismo excesivo para así no inhibir la participación.

Una de las ideas básicas del análisis HazOp es que proporciona flexibilidad y libertad para la creatividad; aunque es recomendable que el facilitador del análisis emplee una lista de comprobación, de esta forma el análisis será sistemático y completo, llevándose un control sencillo del avance del estudio. Se espera que, debido al proceso de aprendizaje que acompaña al estudio, se realicen algunos cambios durante el progreso del estudio.



---

**2.4.1.1 Metodología del Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp".**

El propósito, objetivos y alcance del estudio deberán ser lo más explícito posible. Estos son establecidos por el responsable de la planta o de proyecto; quien debe estar apoyado por el facilitador de la técnica HazOp. Es importante que las personas trabajen juntas para promover una dirección y enfoque adecuado al estudio.

La aplicación del método requiere un juego completo de diagramas de tubería e instrumentación. Se requiere que los miembros del equipo cuenten con un conocimiento profundo del proceso, así como de documentación adecuada, pues estos dos puntos serán la base de su análisis. Adicionalmente a los DTI's, se requieren diagramas de flujo de proceso y diagramas de localización de equipos. Ocasionalmente, el manual de operación de la planta y manuales de operación de equipos también serán requeridos.

De acuerdo a lo explicado anteriormente, el análisis HazOp requiere como paso preliminar, la formación del equipo multidisciplinario. Generalmente el ingeniero responsable del proyecto debe tomar parte de este, así como el ingeniero de proceso y el de instrumentación, así mismo personas del área de producción. Es indispensable la participación de un experto en la aplicación de la técnica, quien fungirá como coordinador, asegurando que el procedimiento sea seguido y que todos los aspectos importantes sean analizados, estimulando la discusión.

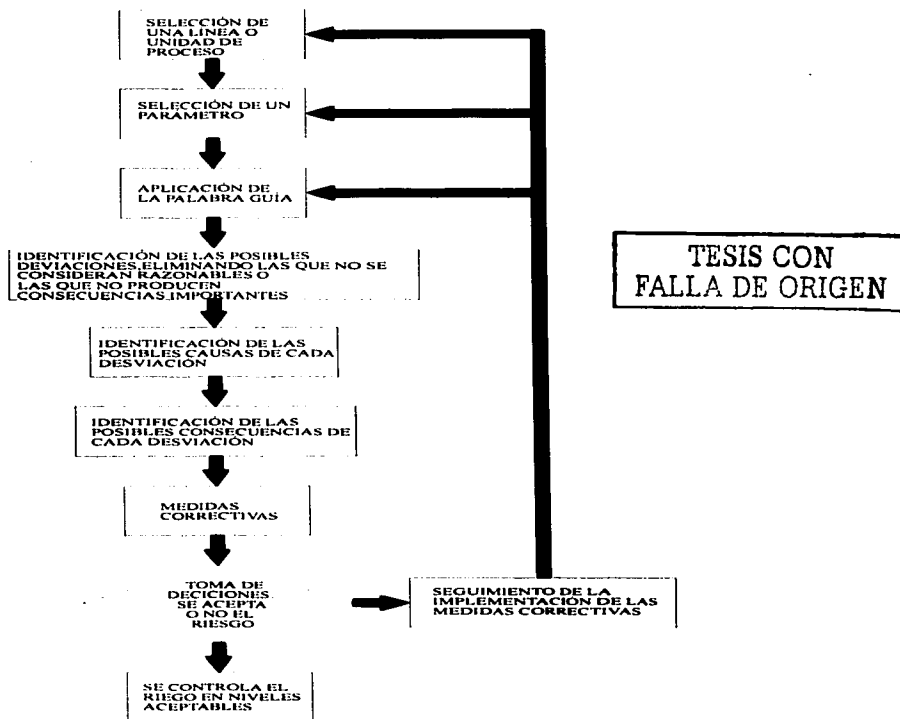
El proceso se inicia seleccionando un estilo de análisis, éste puede ser recipiente por recipiente o línea por línea, el primero se puede realizar considerablemente rápido, pero si la red de tuberías del sistema es compleja se recomienda usar el sistema de línea por línea. La mejor opción es el realizar un estudio híbrido, pues al considerar solo las líneas muchos tipos de accidentes (reacciones fuera de control, sobrecalentamiento, etc.) que ocurren en recipientes pueden ser ignorados, de la misma forma que



accidentes relacionados a las tuberías no se considerarían en un análisis de recipientes.

El análisis HazOp se concentra en puntos específicos del proceso u operación llamados "nodos", que son secciones del proceso u operaciones sencillas. Uno por uno, el equipo examina si en cada sección u operación existen desviaciones potenciales que se deriven de las palabras guía establecidas. La figura 2.1 ilustra el flujo de actividades en una reunión HazOp.

**Figura 2.1. Diagrama de Flujo de la Técnica HazOp.**





El siguiente punto consiste en aplicar las palabras guía tanto a acciones como a parámetros específicos. (Ver tablas 2.1 y 2.2 de palabras guía y parámetros comunes del proceso). Como primer paso, la intención de diseño en condiciones normales es especificada. A partir de este punto, la aplicación de las palabras guía servirá para identificar desviaciones, que son circunstancias en las que la intención definida no se cumple. Estas desviaciones producen consecuencias y al mismo tiempo tendrán causas que las originan.

Las desviaciones sugeridas, así como las preguntas formuladas durante la sesión, afectarán grandemente la calidad de los resultados. Para que la desviación sea considerada en el análisis deberá tener consecuencias importantes y causas razonables.

**Tabla 2.1 Palabras guía para el análisis HazOp y su significado**

Palabra guía	Significado
No	Negación de la intención de diseño
Más	Incremento cuantitativo
Menos	Decremento cuantitativo
Parte de	Decremento cualitativo
También como	Incremento cualitativo
Inverso	Opuesto lógico de la intención
Otro que	Substitución completa

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**Tabla 2.2 Parámetros de proceso comunes en un análisis HazOp**

Flujo	Tiempo	Frecuencia	Mezclado
Presión	Composición	Viscosidad	Adición
Temperatura	Acidez	Voltaje	Separación
Nivel	Velocidad	Información	Reacción



Una vez que las posibilidades del accidente han sido descritas se registran las medidas de seguridad actuales y se responde a la siguiente pregunta, ¿Son estas las medidas de seguridad adecuadas? Generalmente, esto se responde con base en la experiencia general. Si se decide que se requiere de seguridad adicional, el siguiente paso consiste en proponer soluciones correctivas y evaluar su costo. En algunos casos un análisis más detallado será requerido. Sin embargo, en la mayoría de ellos, un análisis HazOp es suficiente para decidir la implementación de medidas correctivas o incluso cambios en el diseño.

El facilitador del equipo debe asegurar que las fallas por servicios auxiliares sean tomadas en cuenta para su discusión. Es posible considerarlas como una unidad, en lugar de analizarlas en cada recipiente específico.

Finalmente, es esencial garantizar un registro sistemático de los resultados del análisis que es regularmente llevado a cabo mediante el tradicional formato de columnas.

### **Terminología para el análisis HazOp.**

**Circuito:** Sección de equipos con límites definidos dentro del cual los parámetros del proceso son investigados por desviaciones.

**Operaciones:** Acciones discretas de un proceso tipo discontinuo o de un procedimiento analizado por el HazOp. Pueden ser acciones manuales, automáticas o computarizadas.

**Intención:** Es como se espera que una planta sea operada en ausencia de desviaciones. Toma un gran número de formas y puede ser descriptiva o gráfica.

**Palabras Guía:** Palabras sencillas que son usadas para calificar o cuantificar la intención de diseño y para guiar y estimular el proceso propositivo de identificación de peligros.





**Parámetros de Proceso:** Propiedades químicas o físicas asociadas con el proceso. Incluye puntos generales como reacción, mezclado, concentración, acidez, y otros puntos como temperatura, presión, fase y flujo.

**Desviación:** Separaciones de la intención original de diseño, descubiertas mediante la aplicación sistemática de las palabras guías a los parámetros de proceso.

**Causas:** Razones por las que las desviaciones pueden ocurrir. Una vez que se ha demostrado que una desviación tiene una causa creíble, debe ser tratada con mucha atención.

**Consecuencias:** Son los resultados de las desviaciones. Normalmente el equipo asume que las protecciones fallan. Consecuencias menores, no relacionadas al objeto de estudio no son consideradas.

**Protecciones:** Sistemas ingenieriles o controles administrativos diseñados para prevenir las causas o mitigar las consecuencias de las desviaciones.

**Acciones o Recomendaciones:** Sugerencias para cambios en el diseño, cambios en el procedimiento, o áreas para estudio superior.

#### **2.4.1.2 Matriz de Riesgos.**

El índice o número de riesgo permite tomar decisiones sobre la aceptabilidad o no del riesgo, además de que ayuda a establecer prioridades en las acciones correctivas. El sistema empleado para asignar propiedades a las recomendaciones usa una matriz de riesgos que combina la probabilidad de ocurrencia de un accidente con la gravedad de las consecuencias del mismo. Las recomendaciones se clasifican de acuerdo al nivel de riesgo encontrado y se obtienen directamente de la matriz de riesgos. Estas se clasifican de la siguiente manera:

**Clase A:** El grado de riesgo clase **A** tiene muy alta prioridad. Esto significa que es necesaria una acción inmediata para eliminar o minimizar la



ocurrencia del incidente ó mitigar su consecuencia. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el grado de riesgo clase A tendrá un valor de **1 a 3**.

**Clase B:** El grado de riesgo clase **B** tiene alta prioridad. Esto quiere decir que la administración debe evaluar la implantación de las recomendaciones generadas mediante un análisis de costo-beneficio y el fundamento de la recomendación dada para reducir el grado de riesgo, para que con base a esto, se tome la decisión de "aceptar ó no el riesgo". De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el nivel de riesgo clase B tendrá un valor de **4**.

**Clase C:** El grado de riesgo clase **C** tienen prioridad media. Esto significa que la acción preventiva o correctiva que se tome deberá ser evaluada por la administración mediante un análisis costo-beneficio, aunque a diferencia del grado de riesgo anterior, la implantación de las recomendaciones podrá llevar un poco más de tiempo, ya que no es un riesgo muy crítico. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el grado de riesgo clase C tendrá un valor de **6**.

**Clase D:** El grado de riesgo clase **D** tiene baja prioridad. Esto quiere decir que la implantación de las recomendaciones sugeridas en el análisis mejorará aún más la seguridad pero el proceso puede seguir operando con seguridad aunque la recomendación no se implemente. De acuerdo con la matriz de riesgos que aquí se presenta, el grado de riesgo clase D tendrá un valor de **7 a 10**.

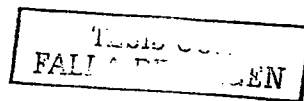
**Figura 2.2 Matriz de riesgos**

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

Las frecuencias que se utilizan para la estimación de los riesgos son las siguientes:

**Tabla 2.3 Frecuencias**

Num	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





Las gravedades que se utilizan para la estimación de los riesgos son las siguientes:

**Tabla 2.4 Gravedades**

<b>Num</b>	<b>Gravedad</b>	<b>Aspecto</b>	<b>Descripción</b>
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

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 riesgos como la que a continuación se observa.

**Figura 2.3 Matriz de Clases de Riesgo**

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

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



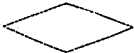


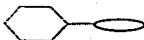


#### 2.4.2 ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.

Un árbol de fallas es un modelo gráfico que ilustra las combinaciones de fallas que pueden causar un accidente específico llamado "evento culminante". El análisis de árbol de fallas (AAF) es una técnica deductiva que emplea símbolos propios de la lógica Booleana para descomponer las causas de un evento culminante en fallas básicas de equipo o errores humanos.

Los eventos culminantes son situaciones peligrosas específicas, típicamente identificadas mediante técnicas menos minuciosas como un análisis "What-if" o HazOp. El AAF genera una lista de las combinaciones de fallas que pueden causar el evento culminante de interés. Estas combinaciones son conocidas como "conjuntos mínimos". Un conjunto mínimo es la asociación más pequeña de componentes de falla que, si todos ocurren o existen simultáneamente, causarán que el evento culminante se materialice. Por tanto una lista de conjuntos mínimos representa las formas conocidas en las que un accidente puede ocurrir, formuladas en términos de fallas de equipos, errores humanos y circunstancias asociadas.

El árbol de fallas es una representación gráfica de las relaciones entre fallas y un accidente específico. La tabla 2.5 muestra los símbolos estándares empleados en la realización de un árbol de fallas.

**Tabla 2.5 Símbolos empleados en la realización de un árbol de fallas**

<b>SÍMBOLO</b>	<b>APLICACIÓN</b>
	Sucesos intermedios: 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 necesita desarrollarse más.
	Sucesos no desarrollados. No son sucesos básicos, y podrían desarrollarse más, pero el desarrollo no se considera necesario, o no se dispone de la suficiente información.
	Puerta O: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de uno o más sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
	Puerta Y: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de todos los sucesos de entrada para producir el suceso de salida.
 Inhibición	Puerta inhibición: Representan la operación lógica que requiere la ocurrencia de un suceso de entrada y la satisfacción de una condición de inhibición.
	Condición externa: Se utiliza para indicar una condición o un suceso que existe como parte del escenario en que se desarrolla el árbol de fallas.
	Transferencias: Se utilizan para continuar el desarrollo del árbol en otra parte (por ejemplo, en otra página, por falta de espacio).



Los eventos de fallas y los eventos básicos representando fallas de equipos o humanas, que a partir de este momento serán llamadas componentes, pueden ser divididos en fallas y faltas. Una falla de componente es un desperfecto que requiere que el componente sea reparado antes de que pueda volver a funcionar correctamente. Una falta de componente es un error que se reparará por sí mismo una vez que las condiciones causantes sean corregidas.

Una suposición básica del árbol de fallas es que todos los componentes ocurren ya sea en un estado de falla o en un estado de trabajo. Las faltas y fallas descritas en el árbol de fallas pueden ser agrupadas en tres clases que a continuación se describen:

Las **fallas primarias** son desperfectos que ocurren cuando el componente está operando en un ambiente para el cual fue diseñado. Las faltas y fallas primarias son usualmente atribuibles a defectos en el componente fallido y no pueden ser atribuidos a alguna fuerza o condición externa.

Las **fallas secundarias** son desperfectos de equipo que ocurren en un ambiente para el cual la operación del equipo no fue diseñada. Estas fallas o faltas secundarias no son responsabilidad del equipo, y son por tanto atribuidas a alguna condición o fuerza externa.

Las **fallas o faltas de comando** son desperfectos en el que el componente funciona de la forma en la que fue diseñado; sin embargo, la función del componente no es la deseada. En otras palabras, las fallas de comando no son responsabilidad del equipo, sino del que lo controla.

Una gran ventaja del AAF, comparado con el análisis HazOp, es que sólo las secuencias de eventos que conducen a accidentes son investigadas. Las secuencias de eventos sin consecuencias graves no son investigadas, reduciendo la cantidad de trabajo para ser realizado. Otra ventaja es que investiga una combinación de fallas en lugar de fallas únicas.



---

### 2.4.2.1 Metodología del Árbol de Fallas.

Cuatro pasos se tomaron para desarrollar este análisis:

**1. Definición del problema:** La definición del evento culminante es uno de los aspectos más importantes del primer paso. El evento culminante es el accidente que es sujeto de estudio del análisis y debe ser definido precisamente, para evitar un análisis ineficiente. Deben ser incluidos en el análisis: las fronteras físicas del sistema que encierran al equipo, las interfaces de éste con otros equipos y los sistemas de apoyo. Junto con las fronteras físicas del sistema, el análisis debe especificar el nivel de resolución que tendrán los eventos del árbol.

**2. Construcción del árbol de fallas:** La construcción comienza con el evento culminante y procede, nivel por nivel, hasta que todos los eventos de falla han sido seguidos hasta sus causas básicas.

Las causas inmediatas del evento culminante se muestran en el árbol de fallas en relación con el accidente analizado de la forma siguiente: si cualquiera de ellas resulta directamente en el evento culminante, se conectan a este mediante una puerta lógica "O". Si todas las causas inmediatas son requeridas para que el accidente ocurra, están conectadas mediante una puerta lógica "Y".

Cada uno de los eventos inmediatos es tratado de la misma forma, es decir sus causas son determinadas y mostradas en el árbol de fallas con la puerta apropiada. El analista debe seguir el procedimiento hasta que todos los eventos básicos sean alcanzados.

**3. Analizando el árbol de fallas:** El árbol de fallas terminado proporciona información muy útil, ya que muestra cómo las fallas interactúan para resultar en el accidente culminante. Sin embargo, no siempre es fácil identificar directamente del árbol de fallas, todas las combinaciones que conducen al accidente.





Los conjuntos mínimos son las combinaciones posibles de las que puede resultar el accidente o evento culminante; además son sumamente útiles en la jerarquización de las formas en las que el accidente puede ocurrir y permiten la cuantificación del árbol si existen los datos necesarios.

El método para encontrar los conjuntos mínimos se compone de cuatro pasos:

**Paso 1:** Identificar todas las puertas y eventos básicos en el árbol de fallas. Cada identificador es único, y si un evento básico aparece más de una vez en el árbol, deberá tener el mismo identificador todas las veces.

**Paso 2:** Resolver todas las puertas en eventos básicos. Esto es hecho mediante el formato de una matriz, empezando con el evento culminante y procediendo por la matriz hasta que todas las puertas lógicas sean resueltas. Las puertas son resueltas sustituyéndolas en la matriz por sus eventos de entrada. El evento culminante siempre es la primer entrada en la matriz y se coloca en la primer columna y fila.

**Regla "O":** La primer entrada a una puerta "O" reemplaza al identificador de la puerta, los siguientes eventos entrada son insertados en las siguientes filas vacías de la matriz, una entrada por fila. Si existen otras entradas en la fila donde la puerta "O" apareció, estas entradas deberán ser repetidas en todas las filas que contengan las otras entradas de dicha puerta.

**Regla "Y":** Cuando se resuelve la puerta "Y" en la matriz, la primer entrada a la puerta reemplaza al identificador de la puerta en la matriz, y las otras entradas se colocan en las siguientes columnas disponibles, entrada por columna, en la misma fila en la que la puerta "Y" apareció. Todas las puertas subsecuentes son resueltas y todas las otras entradas a una puerta "Y" son incluidas en cada nueva fila creada. Las puertas de retraso e inhibición son resueltas de la misma forma que las "Y".



**Paso 3:** Remover todos los eventos duplicados dentro de cada juego de eventos básicos identificados.

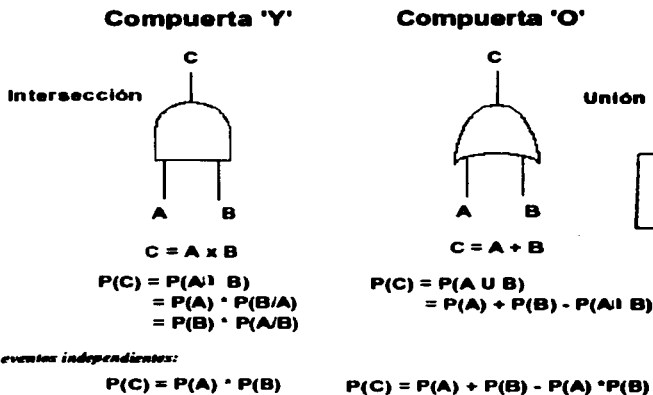
**Paso 4:** Borrar todos los conjuntos que contengan a otro componente básico de eventos. Una vez que una lista mínima de conjuntos para un evento particular es encontrada, un analista puede evaluar las fallas para determinar cadenas débiles en el sistema. Usando los resultados de este análisis cualitativo, es posible proponer recomendaciones para mejorar la seguridad del sistema en estudio.

**4. Documentación de los resultados:** El analista de riesgos deberá proveer una descripción del sistema analizado, una discusión de la definición del problema, una lista de suposiciones, los modelos de árbol de fallas desarrollados, así como de una lista de los conjuntos mínimos y la evaluación de la importancia de cada uno de éstos.

La lista de conjuntos mínimos, para un sistema basado en el evento culminante y sus condiciones analizadas, es el producto final de un AAF cualitativo. El AAF es frecuentemente usado como una herramienta de comunicación muy efectiva para los responsables de la toma de decisiones. Con base a los números y tipos de fallas en los conjuntos mínimos, un equipo de analistas puede recomendar mejoras, que resultarán en un evento culminante menos probable.



## 2.4.2.2

**Resolución de las compuertas lógicas.**

Los valores de probabilidad que se le asignan a cada falla de “el árbol de Fallas”, son sacados de la tabla que se encuentra en el anexo B, los valores reportados en esta tabla han sido asignados de acuerdo a la experiencia de los ingenieros y a los eventos reportados a través de los años.

### 2.4.3 ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.

Los accidentes que ocurren con más frecuencia en la industria química son explosiones, incendios y emisiones de sustancias tóxicas. Para evaluar las consecuencias que estos accidentes producen, es necesario conocer los datos que definen al escenario potencial de riesgo.

Para identificar si se producirá un incendio o una explosión, es necesario saber que el fuego es consecuencia visible de la combustión, y que esta es



una reacción química que libera energía a partir de la oxidación de un material comburente.

Existen tres elementos para que el fuego se origine y son:

- Combustible.
- Comburente.
- Fuente de Ignición.

Si alguno de estos tres elementos faltara no se puede llevar a cabo el fuego.

Otro dato importante es la inflamabilidad de una sustancia la cual se refiere a la mayor o menor facilidad con que este (el combustible) pueda arder en un comburente con presencia de una fuente de ignición.

Esta se representa como % en volumen y siempre se reporta uno menor y uno mayor dentro de los cuales se considera el rango en el que la mezcla puede comenzar a arder.

Para que se produzca la ignición de un material combustible, se debe de suministrar la energía suficiente para alcanzar la temperatura de ignición, esa energía se puede obtener por superficies calientes, equipo eléctrico, ignición espontánea, chispas y calor debidos a fricción, ignición intencionada y electricidad estática.

La diferencia fundamental entre un incendio y una explosión es la velocidad de la liberación de la energía química potencial, ya que en un incendio es mucho menor que en una explosión, además de que es frecuente de que un incendio da origen a una explosión y viceversa.



---

**2.4.3.1 Clasificación de los materiales de acuerdo a su inflamabilidad.**

La NFPA clasifica a los materiales de acuerdo a su inflamabilidad de la siguiente manera:

-Grado de inflamabilidad 0. No arden aunque se expongan a temperaturas de 815 °C en aire durante 5 minutos.

-Grado de inflamabilidad 1. Es necesario que exista un precalentamiento considerable para que comience a arder. Se consideran de este tipo los materiales que arden en aire a 815 °C en menos de 5 minutos y líquidos, sólidos y semisólidos combustibles con punto de flash mayor a 93.4 °C.

-Grado de inflamabilidad 2. No forman atmósferas peligrosas en contacto con el aire bajo condiciones normales, pero pueden hacerlo después de un calentamiento moderado o al ser expuestos a altas temperaturas. Aquí se contemplan los líquidos con punto de flash entre 37.8 y 93.4 °C.

-Grado de inflamabilidad 3. Líquidos y sólidos (fibrosos o de granulometría relativamente gruesa, así como los que contienen oxígeno en su molécula) que, sometidos a ignición, pueden arder bajo condiciones ambientales o muy cercanas a ellas. Estos dan origen a atmósferas inflamables en aire, prácticamente en todas las condiciones ambientales comunes.

-Grado de inflamabilidad 4: Materiales que vaporizan rápidamente en condiciones ambientales y proporcionan una combustión rápida. Incluyen gases, materiales criogénicos, líquidos inflamables con punto de flash inferior a 22.8 °C y materiales que a causa de su forma física o propiedades pueden dispersarse con facilidad en el aire, formando mezclas explosivas.



### **2.4.3.2 Clasificación de los líquidos de acuerdo a la NOM-105-STPS-1994, Seguridad-Tecnología del Fuego.**

De acuerdo a la NOM-105-STPS-1994, seguridad-tecnología del fuego terminología en el caso de los líquidos, se clasifican en:

Extremadamente inflamables: Cuando arden a temperaturas inferiores a 0°C.

Altamente inflamables: Cuando arden a temperaturas de 0°C a 21°C.

Inflamables: Cuando arden a temperaturas de 21°C a 55°C.

### **2.4.3.3 Incendios.**

TESIS CON  
PALA DE ORIGEN

Las plantas químicas y petroquímicas han sido escenario de grandes incendios, ya que las sustancias producidas son frecuentemente muy inflamables y porque la mayoría de los procesos involucran solventes altamente inflamables.

Los incendios en los que el combustible es líquido, generalmente son originados por fugas en las uniones soldadas, empaques de las bombas, tuberías de mala calidad rotas, agujeros provocados por corrosión, contenedores golpeados, etc. Algunos incendios surgen de descargas deliberadas, como vaciado de tubos y contenedores o remoción de lodos. Como se mencionó anteriormente, si el líquido se encuentra por arriba de su punto de auto-ignición la combustión será espontánea e inmediata; de lo contrario una fuente de ignición será indispensable.

Algunos de los mayores incendios involucran tanques de almacenamiento, particularmente como resultado de una explosión inicial o fuego en el borde de un tanque de techo flotante. El incendio puede ser extinguido si la respuesta es rápida y los equipos e instalaciones de emergencia tienen



suficiente capacidad. Retardos, fallo del equipo de emergencia o capacidad inadecuada comparada con el tamaño del incendio, resultan en un aumento gradual del tamaño del incendio.

Los incendios en superficies líquidas "pool fires" debidos a derrames de líquidos inflamables generalmente no presentan una amenaza para personas que se encuentren fuera de la planta; sin embargo, éste tipo de fuego en movimiento por tuberías frecuentemente es muy peligroso para edificios y las personas dentro de estos.

Las fugas de líquidos a altas presiones, tienen un mecanismo muy diferente. Estos líquidos liberados en forma de aerosol o chorro, pueden producir un dardo de fuego; tales incendios pueden ser muy intensos, con llamas sorpresivamente largas, que pueden chocar contra otros equipos y causarles serios daños, empeorando el escenario.

Las emisiones de tóxicos durante incendios han sido reconocidas como graves problemas, en la mayoría de los casos, el humo tóxico se elevará sobre el nivel en el que puede causar daño agudo. No obstante, los incendios en una localidad con edificios altos presentan un gran riesgo, al igual que los incendios en valles angostos bajo condiciones atmosféricas muy estables.

Los incendios y desgraciadamente también las acciones de control y mitigación representan una de las amenazas más agudas al ambiente.

#### **2.4.3.4 Fugas de gases.**

Las fugas de gases y vapores se comportan muy diferentemente a las descargas de líquidos por debajo de punto de ebullición. Inicialmente, el gas o vapor se esparce como un chorro, con aire mezclándose en este por la turbulencia del flujo de gas. Este mezclado puede diluir el chorro por debajo del límite de flamabilidad inferior.

Una vez que el chorro es esparcido, el gas se dispersara con el viento. Para gases naturales, como el amoniaco o gases ligeros similares, el gas tiende a



elevarse y extenderse gracias a la turbulencia del viento. Para hidrocarburos más pesados, la mezcla es menos ligera que el aire y se esparcirá planamente al nivel del piso. Los gases licuados, al mezclarse con el aire resultarán en una mezcla más pesada que el aire, porque el aire está frío, incluso si el gas por sí mismo es ligero.

Los gases inflamables esparciéndose en forma de nube pueden encontrar una fuente de ignición. Generalmente, esto ocurre, ya sea en el origen o en la orilla de la nube. La forma del incendio resultante dependerá mucho de la cantidad de aire con el que se ha mezclado el gas. Si se ha mezclado poco, el fuego aparecerá en la orilla de la nube, tanto como el aire se difunda dentro de la nube.

#### **2.4.3.5 Explosiones.**

Una explosión a diferencia de un incendio libera energía de forma repentina y violenta. Si una nube homogénea de vapor dentro del rango de flamabilidad se prende en ausencia de restricciones externas, el resultado es una flama esférica, la cual se propaga rápidamente hacia el resto de la nube. La combustión provoca un incremento en la temperatura, y normalmente un incremento en el número de moles. La velocidad de este proceso provoca un aumento en la presión local, misma que no se equilibra con sus alrededores. En un incendio el proceso es suficientemente lento para que este incremento en la presión sea disipado.

La flama en expansión provoca ondas de presión en la mezcla que no ha reaccionado, estas ondas generalmente se propagan a la velocidad local del sonido. Si la velocidad del frente de reacción es suficientemente alta, se producirá una superposición frontal de ondas, generando ondas de choque.





Las explosiones se clasifican en deflagraciones o detonaciones, dependiendo de sus velocidades relativas de sonido y del frente de combustión en la mezcla que no ha sido consumida. Si la velocidad de la flama es menor que la propagación del sonido en la mezcla que no ha reaccionado se produce una deflagración.

Las detonaciones de las mezclas de gas combustible con aire requieren de cierto grado de confinamiento. Una detonación puede ocurrir directamente o como una transición de deflagración, si ha ocurrido en el proceso una aceleración del frente de reacción; evento, este último, que puede ocurrir en tuberías. Las presiones alcanzadas en las detonaciones son mucho más altas y por lo mismo sus efectos son más destructivos.

El efecto final de una explosión o incendio depende de la naturaleza intrínseca del accidente y de las condiciones en que ocurrió, las cuales pueden aumentar o mitigar sus efectos en una explosión física, es decir cuando no hay reacciones químicas contribuyendo a los efectos de la explosión o si los hay no son de importancia, cuando solo hay gas presente, los posibles efectos se ven reducidos a la formación de ondas de choque y proyectiles, siempre y cuando no haya ignición de la mezcla.

En caso de que exista ignición y el gas sea de naturaleza combustible, puede ocurrir una explosión de nube de vapor no confinada (UVCE, por sus siglas en inglés) o en un incendio repentino. Los efectos finales de una UVCE son la formación de ondas de choque y proyectiles; los efectos térmicos no son considerados de gran importancia, no así en un incendio repentino.

Cuando existe líquido y vapor en una explosión física, las consecuencias son diferentes. Si el líquido se encuentra por debajo de su temperatura de



ebullición, únicamente el vapor tomará parte de la explosión y la evolución de los eventos es similar a la explicada anteriormente.

#### **2.4.3.6 Blevé.**

Si el líquido se encuentra por arriba de su punto de ebullición, la explosión física inicial provocará la ruptura del contenedor, causando una descompresión repentina y por ende, una evaporación masiva del líquido. Esto es conocido como Blevé (Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion).

El patrón típico de una blevé comienza con un incendio debajo o alrededor de un recipiente presurizado conteniendo un gas licuado. Como resultado, la presión aumenta y la válvula de alivio abre. Si la parte seca del contenedor, es decir por arriba del nivel de gas licuado, no es enfriada, se sobrecalentará y el material se fatigará. Cuando el recipiente ceda a la presión, una gran parte del contenido del recipiente se evaporara, resultando una gran nube de líquido evaporándose y gas, mezclándose violentamente con el aire y quemándose. Todo el contenido de un recipiente se puede quemar en menos de cuarenta segundos, causando una radiación térmica muy intensa.

Las BLEVE tienen un gran poder destructivo debido al incremento de la presión causado por la incorporación repentina de líquido a la fase gaseosa. La ignición de una BLEVE produce una masa de gases a alta temperatura conocida como "bola de fuego", con efectos térmicos muy significativos.

#### **2.4.3.7 Explosiones Internas en Equipos.**

Otro tipo de explosiones son las confinadas, éstas incluyen a las deflagraciones inicialmente confinadas por recipientes o edificios. En este caso, si la estructura o recipiente permiten un venteo adecuado no habrá



consecuencias posteriores, en caso contrario, se producirán ondas de choque, proyectiles originados en el recipiente o radiación térmica.

Un equipo en una planta química puede explotar como resultado de una reacción descontrolada, o por el ingreso de aire a sus internos, seguido por combustión. Estas explosiones pueden ser muy violentas e incluso, afectar a personas fuera de la planta.

Finalmente, existen explosiones o incendios provocados por el derrame de gases o líquidos capaces de evaporarse lo suficiente para generar una mezcla combustible. Si la emisión es de dos fases, se formará una nube que puede causar una UVCE o un incendio repentino.

También es posible que se formen dardos de fuego, incendios en superficies líquidas o que solo haya dispersión de la sustancia sin ignición. En conclusión, el momento de ignición es de gran importancia para determinar el tipo de accidente que tomará lugar.

#### **2.4.3.8 Derrames de Líquidos Tóxicos.**

Los derrames de líquidos tóxicos pueden ocurrir en tuberías, plantas de proceso o durante el transporte. Casi siempre representan una amenaza al ambiente, por ejemplo: a corrientes naturales de agua, suelo destinado para la agricultura, áreas habitacionales, o aguas subterráneas.

Muy frecuentemente estas descargas cuando se evaporan pueden penetrar en casas habitación, requiriendo el tratamiento posterior del suelo afectado.



---

#### **2.4.3.9 Fugas de Gases Tóxicos.**

Las fugas de gases tóxicos caen en dos categorías. Los gases ligeros inicialmente se esparcen verticalmente, hasta que se difunden naturalmente en el aire (excepto cuando están fríos y mezclados con aire) raramente son una verdadera amenaza, a menos que se encuentren entre edificios altos o en interiores.

Los gases pesados y sus mezclas tienden a esparcirse horizontalmente, formando capas densas de gas, las cuales pueden viajar gracias al viento hasta áreas pobladas o almacenarse en valles angostos. Por lo que el riesgo es mucho mayor.

#### **2.4.3.10 Efecto Dominó.**

Cuando ocurre el incendio o explosiones de gran magnitud en una planta química, es muy posible que estos afecten a otras plantas, y que los incendios y explosiones se propaguen de unidad a unidad. A esto se le conoce como efecto dominó.

Un buen ejemplo de esto es la explosión de una esfera de almacenamiento de gas L.P. en la refinería "Texas City" en 1986; la explosión provocó que la mitad de la refinería quedara totalmente destruida. Inicialmente, una esfera se colapsó debido a una mala soldadura y la descarga encontró un punto de ignición. Como resultado se iniciaron otros fuegos en los tanques vecinos, varios de estos fueron explosiones de tipo BLEVE.



# CAPÍTULO III

## TRABAJO DE CAMPO



---

### **CAPÍTULO III**

### **TRABAJO DE CAMPO**

#### **3.1 SELECCIÓN DEL CIRCUITO.**

En el presente trabajo se dan los resultados del circuito **"PLANTA DE HIDRÓGENO"**, en donde se incorporaron DTI's, resultados obtenidos por el estudio HazOp y las recomendaciones que se obtuvieron del análisis.

Los circuitos seleccionados fueron los siguientes:

Circuito 1 Planta Hidrodesulfuradora de Naftas No. 2.

Circuito 2 Planta Reformadora de Naftas No. 2.

**Circuito 3 Planta de Hidrógeno.**

Circuito 4 Planta Hidrodesulfuradora de Diesel.

La presente tesis es una parte del proyecto de análisis de riesgos con actualización de sus planos de el Área "Hídros II" de la Refinería "Ing. Héctor R. Lara Sosa", Ubicada en Cadereyta de Jiménez; Nuevo León, por tal motivo solo se presentan los resultados del análisis de riesgos del circuito número tres que corresponde a la "PLANTA DE HIDRÓGENO".



---

### **3.2 DESCRIPCIÓN DEL CIRCUITO "PLANTA DE HIDRÓGENO".**

---

#### **DESCRIPCION GENERAL DE LA PLANTA DE HIDROGENO.**

La planta comprende las siguientes secciones de proceso:

- Hidrodesulfuración.
- Reformación con Vapor.
- Conversión del CO.
- Unidad PSA.
- Recuperación de Calor Residual.

La planta de hidrógeno es capaz de producir 67,250 m<sup>3</sup> N/h de Hidrógeno puro por medio de la reformación catalítica con vapor.

Como el catalizador del reformador es muy sensitivo para envenenarse con azufre, el azufre en el gas natural es procesado en un reactor de hidrodesulfurización (03-DC-900), primero hidrogenándolo en la cama superior y posteriormente adsorbido y convertido en ZnS en la zona inferior de desulfurización que contiene ZnO como adsorbente.

El reformador con vapor convierte el vapor y el gas natural a los gases producto que son CO y H<sub>2</sub>. El efluente del reformador contiene además los productos CO<sub>2</sub> y como residuos CH<sub>4</sub> y H<sub>2</sub>. El monóxido de carbono, el cual es producido en el reformador con vapor, es convertido por medio de vapor de agua sobre una cama catalítica en un reactor de conversión a alta temperatura a hidrógeno y dióxido de carbono.

El resto de los componentes no deseables son eliminados de la corriente de hidrógeno por medio de la adsorción en mallas moleculares utilizando un proceso de Adsorción por Presión Oscilante (PSA). La purificación del



hidrógeno esta basada en la adsorción selectiva de componentes en forma gaseosa tales como metano, monóxido y dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua. El hidrógeno no es adsorbido y sale de la unidad de adsorción como gas producto y con una alta pureza. Subsecuentemente el hidrógeno puro producto se envía al L. B. a una presión de 20 kg /cm<sup>2</sup> y una pequeña parte (68.72 kg /h, con una presión de 33.9 kg /cm<sup>2</sup> y 120 °C) se recircula a través del compresor de hidrógeno (03-GB-900) para promover la hidrogenación corriente arriba del reactor 03-DC-900.

Durante la regeneración de los adsorbedores de la unidad PSA los gases adsorbidos son liberados y enviados como gases residuales al sistema de gas residual lo cual asegura un suministro constante y estable de gas combustible a los quemadores del reformador. El gas combustible de refinería y/o el gas natural es usado como combustible solamente durante el arranque y el paro de la planta y para balancear las necesidades de calor del reformador con vapor.

**DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.** (Ver DFP en Apéndice A "Diagramas")

#### **Pre calentamiento e Hidrodesulfuración del Gas Natural.**

El gas natural disponible en el L.B. se encuentra a una presión manométrica cercana a 34.4 kg /cm<sup>2</sup> y una temperatura de 20°C.

Para evitar envenenamiento del catalizador del reformador este debe estar libre de azufre. Para lograr una eliminación eficiente de azufre del gas natural, esta corriente debe ser precalentada aproximadamente 370°C, esto se efectúa por medio del intercambio de calor con el gas reformado caliente en el precalentador de carga EA-900, esta corriente es controlada por el FQI-932 Y el PI-930 en la cual esta instalada la válvula HV-930 de corte rápido.





Previo a la entrada del precalentador el gas natural es mezclado con una corriente de hidrógeno, la cual es enviada por medio del compresor de recirculación de hidrógeno GB-900-A/B, el flujo de hidrógeno es controlado por el FIC-930. El gas natural mezclado con hidrógeno de recirculación es enviado a la cama superior del reactor DC-900.

En la cama superior del reactor de hidrodesulfurización DC-900, los compuestos orgánicos de azufre tales como mercaptanos y tiofenos son convertidos a sulfuro de hidrógeno  $H_2S$ . El  $ZnO$ , el cual es el componente de la cama inferior de catalizador del DC-900, convierte el sulfuro de hidrógeno en  $ZnS$  y  $H_2O$ . La carga de gas purificada sale del reactor con una pequeña cantidad de vapor de agua generado en la reacción. El gas natural que sale del reactor de hidrodesulfuración DC-900 tendrá un contenido residual de azufre menor que 0.2 ppmv.

La capacidad de adsorción total del catalizador de desulfurización basado en un contenido de 7 ppmv de azufre total, tendrá una vida mínima de 2 años de operación.

### **Reformación con vapor.**

La corriente de gas natural desulfurizado es mezclado con vapor de agua de proceso en el mezclador GD-900, esta corriente de alimentación es precalentada en los precalentadores de carga/vapor EA-901 y 03-EA-903. La carga precalentada entra a los tubos del reformador BA-900 a una temperatura aproximada de  $650^{\circ}C$ . La temperatura de entrada al reformador es controlada por TIC-901 variando el flujo de vapor con la válvula TV-901 a través del sobrecalentador de vapor BF-900 y del enfriador de superficie EA-902 montado en el interior del tambor de vapor DA-904.



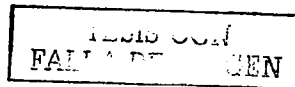
El gas de alimentación precalentado es distribuido a través de un cabezal que se encuentra en la parte superior del reformador hacia 4 cabezales en paralelo y de ahí a través de las "colas de cochino" al arreglo de tubos del reformador que se encuentran en paralelo. Cada uno de los tubos de alta aleación tiene una longitud de exposición a la flama de 14m. Con un diámetro interno de 5" y están llenos con catalizador a base de Níquel.

El gas natural es convertido bajo una reacción fuertemente endotérmica a lo largo del eje de los tubos dentro del llamado gas reformado, el cual contiene hidrógeno, monóxido y dióxido de carbono, nitrógeno, metano no convertido y vapor sin reaccionar. Esta mezcla sale de los tubos a una temperatura aproximada de 820 °C y aproximadamente 23.5 kg/cm<sup>2</sup> de presión manométrica la cual se mide con el TIC-923 y el PI-922B, y es pasado a través de los tubos flexibles cortos de salida al sistema del cabezal y a la línea de transferencia forrada con refractario hacia el generador de vapor de gas reformado EA-904.

El reformador es un horno tipo caja con quemadores en el domo con estructura de acero y placas de acero aisladas con fibra de cerámica. Un número adecuado de mirillas de observación en las dos paredes extremas están instaladas para permitir la observación de todos los tubos del reformador.

Un número suficiente de puertas de explosión y de acceso están instaladas en las paredes extremas.

#### **Sistema del hogar del reformador con vapor.**



Como la reacción principal es altamente endotérmica, el calor a los tubos con catalizador deberá ser suministrado por fuego externo. En la operación



normal, el gas residual de la unidad PSA sirve como el mayor suministro de gas combustible al reformador. El gas combustible de refinería que llega al L.B. y/o gas natural serán utilizados para equilibrar el balance de calor durante la operación normal y exclusivamente durante condiciones de arranque o de ajustes.

El requerimiento total de gas combustible para el calentamiento del BA-900 esta determinado por el controlador de calentamiento el cual considera los parámetros actuales de operación del reformador con vapor, tales como consumo de alimentación, relación vapor a carbón, exceso de oxígeno en el gas de combustión, etc. La temperatura del gas reformado a la salida del reformador será utilizado como parámetro de entrada por el controlador de calentamiento. El controlador de calentamiento actuará sobre la válvula de gas combustible. Cualquier variación en la carga de la planta y requerimientos asociados de combustible estarán cubiertos por este sistema.

El aire de combustión es suministrado por el soplador de aire de combustión GC-900 a través de los precalentadores de aire de combustión 1 y 2 EA-910 y 03-EA-908 respectivamente y por los ductos de distribución a los quemadores a una temperatura aproximada de 420°C. El flujo es ajustado por una mampara controladora de flujo localizada en el lado de succión del soplador. Para operar el reformador siempre con un suficiente exceso de aire, el analizador de oxígeno AI-902 instalado en el ducto de los gases de combustión se utilizará para asegurar el suficiente exceso de oxígeno.

La cámara de combustión del reformador está bajo una presión de vacío de 0.03 a 0.05 kg/cm<sup>2</sup> manométrica; medidos y controlados en el punto bajo del arco por medio del PIC-920. La señal opera la inclinación de la mampara a la entrada del soplador de gases de combustión GC-901. Para obtener una presión promedio del horno, se tienen tres puntos de toma de presión que están instalados en las paredes del reformador.



Una distribución de presión uniforme en el área del horno es alcanzada por los túneles de gases de combustión en el fondo del horno, aislados por bloques del refractario con aberturas en ambos lados, para establecer un flujo de gas uniforme sobre el área.

Los gases de combustión mezclados del reformador con vapor salen del reformador a aproximadamente 980°C a través del ducto principal de los gases de combustión. En este ducto son localizados termopares TI-920 A y TI-920 para indicar y alarmar la temperatura de la salida de los gases de combustión.

Para prevenir condiciones de operación peligrosas se tiene un sistema de disparo que está instalado, el cual interrumpirá el flujo de gas combustible cerrando la combinación de válvulas principales de disparo tanto de gas natural como de gas residual de la unidad PSA. La construcción de ambas válvulas de cierre rápido es de diseño aprobado, y consisten en dos válvulas de bloqueo con una purga, la cual se abre automáticamente en caso de cerrar las válvulas de bloqueo.

Si la combinación de válvulas de disparo es cerrada, estas solamente se podrán reabrir localmente cumpliendo ciertas condiciones.

#### **Recuperación de calor de los gases de combustión.**

En el ducto principal circulan los gases de combustión a través de los ductos interiores del reformador por su sección de recuperación de calor de los gases de combustión. Algunos bancos de tubos (serpentines) están montados en serie, para utilizar el calor sensible de los gases de combustión para sobrecalentar la mezcla de alimentación al reformador EA-901 y 03-EA-903, para generación de vapor de presión media EA-909, para sobrecalentar el



vapor de proceso se utiliza el BF-900 y para precalentar el aire de combustión EA-910 y 03-EA-908. El tiro inducido necesario para mantener el fuego del reformador y para el transporte de los gases de combustión a través de la sección de recuperación de calor es producido por el soplador de gases de combustión GC-901 el cual manda los gases de combustión a la chimenea (X-900). Los gases de combustión son enfriados a aproximadamente 170°C.

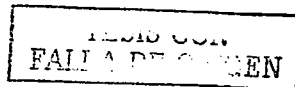
Sobrecalentador de carga / vapor EA-901.

El sobrecalentador de carga/vapor EA-901 está localizado corriente abajo de la caja del reformador. Los gases de combustión calientes que salen del reformador con vapor BA-900 son utilizados para sobrecalentar la mezcla de gas de alimentación desulfurizado y vapor de proceso.

Sobrecalentador de carga/vapor EA-903

La mezcla de alimentación al reformador / vapor pasa a través del sobrecalentador de carga / vapor II EA-903 donde es calentada a aproximadamente 650°C. La temperatura de entrada al reformador es controlada por TIC-901 variando el flujo de vapor a través del sobrecalentador de vapor BF-900 y del enfriador de superficie EA-902 instalado en el interior del tambor de vapor FA-904. Durante el arranque, únicamente vapor y/o Nitrógeno pasará a través de los serpentines de los 03-EA-901 y 03-EA-903.

Sobrecalentador de vapor de proceso BF-900.



El vapor saturado del tambor de vapor FA-904 es sobrecalentado a las condiciones deseadas en el sobrecalentador de vapor BF-900. El vapor de



proceso es suministrado y la parte remanente del vapor sobrecalentado es enviado al cabezal hacia la refinería.

**Generador de vapor EA-909.**

En el generador de vapor EA-909 se genera vapor saturado con una presión de aproximadamente 36.5 kg/cm<sup>2</sup> manométrica. El generador está conectado al tambor de vapor FA-904 a través de un sistema de circulación natural consistente en bajantes y elevadores.

**Pre calentadores de aire de combustión I y II EA-910 y 03-EA-908.**

El aire de combustión a condiciones ambientales es tomado por el soplador de aire de combustión GC-900 a una presión de 0.06 kg/cm<sup>2</sup> manométrica y enviado al pre calentador de aire de combustión I EA-910 donde se calienta a cerca de 260°C. Posteriormente se envía al pre calentador de aire de combustión II EA-908 a aproximadamente 420°C y entonces se envía a los quemadores del reformador BA-900.

**Sistema de recuperación de calor del gas reformado y convertidor de CO.**

El gas reformado sale del reformador con vapor BA-900 a 820°C y aproximadamente 23.5 kg/cm<sup>2</sup> manométrica. A la salida del reformador el gas entra al generador de vapor EA-904 donde es enfriado hasta 345°C aproximadamente generando vapor de presión media de 36 kg/cm<sup>2</sup>. Un bypass interno en el lado del gas sirve para controlar la temperatura del gas de entrada al convertidor de CO. El generador está también conectado al tambor de vapor FA-904 por elevadores y bajantes, utilizando un sistema de circulación natural.

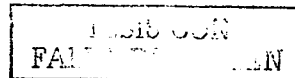


El gas reformado que sale del EA-904 fluye del domo al fondo del convertidor de CO a alta temperatura DC-901 el cual contiene un catalizador a base de óxido ferroso. El monóxido de carbono del gas reformado reacciona con el vapor de proceso no reaccionado formando hidrógeno y dióxido de carbono. Durante la reacción exotérmica se genera calor y la temperatura aumenta cerca de 50°C. El contenido de CO a la salida del convertidor de CO es menor que 2 mol %.

Subsecuentemente el gas sin CO es enfriado en el precalentador de carga EA-900, en el precalentador de agua de alimentación a generadores EA-905, posteriormente llega al enfriador por aire EC-900 y al enfriador final del gas reformado EA-907 a aproximadamente 36°C.

El condensado de proceso es separado en el precalentador de alimentación de agua de generadores EA-905, en el separador de condensado de proceso I FA-901 y en el separador final de condensado de proceso II FA-902. El gas es enviado a la unidad PA-900 (PSA). El condensado de proceso es alimentado al deareador FA-903 donde el CO<sub>2</sub> es desgasificado y eliminado con vapor.

#### **Unidad PSA (Adsorción por presión oscilante).**



Para la purificación final del hidrógeno es utilizado un proceso de adsorción por presión oscilante. Los componentes con alta polaridad y baja volatilidad son adsorbidos, mientras que los componentes con propiedades opuestas son básicamente no-adsorbibles. Por lo cual el CO<sub>2</sub>, CO, N<sub>2</sub> y los hidrocarburos son adsorbidos, mientras que el hidrógeno con una alta pureza sale de la unidad como producto.

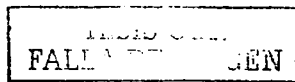
El proceso opera como un ciclo repetido teniendo dos partes básicas: adsorción a alta presión y desorción a baja presión. Existen únicamente



pequeños cambios de temperatura causados por el calor de adsorción y desorción.

En el modo de adsorción el gas reformado fluye del fondo al domo del adsorbedor, cargando gradualmente el adsorbedor. Algunos pasos de igualación de presión son necesarios cuando el adsorbedor es cargado y antes de cambiar a la desorción para recuperar tanto hidrógeno como sea posible. Después de la igualación de presiones, la operación cambia al modo de regeneración, la cuál se efectúa en cuatro pasos básicos. Primero el adsorbedor es depresionado a una presión menor que la de trabajo para establecer el flujo de alimentación. En este paso el hidrógeno presente en el adsorbedor es eliminado primero y es utilizado para presionar y purgar otros adsorbedores. Segundo, el adsorbedor es depresionado completamente, en esta ocasión con el flujo a contracorriente. En este paso los gases adsorbidos son eliminados y enviados al sistema de gas residual. Tercero, el adsorbedor es purgado al nivel de presión del segundo paso de regeneración. El agente purgante es Hidrógeno producto para remover las impurezas residuales. Cuarto, el adsorbedor es represionado a la presión de adsorción con puro hidrógeno recibido de los adsorbedores que están en el primer paso de la regeneración.

Sistema de Gas Residual.



El flujo de gas residual sale del tanque de balance a control de flujo por el FIC-9570. El punto de control del controlador es suministrado por el sistema de control de ciclos haciendo caso omiso de la presión del tanque de balance. De esta manera, a mayor flujo de alimentación a la unidad PSA, existirá mayor flujo de gas residual. Si el flujo del gas residual que sale de la unidad no es igual que la cantidad de gas disponible, la presión en el tanque de





balance empieza a subir o a bajar y la acción de corrección corregirá el flujo de gas de salida de la unidad cambiando el punto de control del controlador.

### **Sistema de Generación de Vapor.**

El calor residual es utilizado para generar vapor. Como la fuente principal de energía es el calor sensible del gas reformado corriente abajo del reformador con vapor BA-900, este es utilizado para generar vapor en el generador de vapor de gas reformado EA-904. Otra fuente de calor para la generación de vapor es el calor residual de los gases de combustión que salen del reformador. Aquí es producido más vapor en el generador de vapor de gases de combustión residuales EA-909 y una menor cantidad de vapor es originada en el enfriador de superficie EA-902 que se encuentra en el interior del tambor de vapor FA-904. Los dos generadores con calor residual EA-904 y 03-EA-909 están también conectados al tambor de vapor FA-904 por elevadores y bajantes diseñadas como un sistema de circulación natural para una operación estable aun a cargas bajas de la planta.

Parte del agua de alimentación a generadores consiste en condensado de proceso recirculado y desgasificado en el deareador FA-903. El balance es realizado con agua desmineralizada y deareada que llega de L.B.; la cual es mezclada con el condensado de proceso recirculado corriente debajo de las bombas de alimentación de agua para generadores GA-900 y 901. El agua de alimentación es precalentada en el precalentador de agua EA-905. Finalmente, el agua para generadores entra al domo del deareador FA-903 saliendo de la bota del precalentador de agua FA-900, donde el nivel de agua se regula a control de nivel con el agua de alimentación a través del LIC-930. El vapor saturado generado en el generador de vapor de los gases residuales de combustión EA-904 se utiliza como vapor de proceso y de exportación.



El vapor es sobrecalentado en el sobrecalentador de vapor BF-900. Puesto que la temperatura de entrada al reformador se controla por medio de la temperatura del vapor sobrecalentado, la temperatura del vapor deberá controlarse en consecuencia. Esto se logra enviando parte del vapor sobrecalentado por acción de la válvula TV-901, al enfriador de superficie EA-902, ubicado en el interior del tambor de vapor FA-904. Después de mezclarse está corriente lateral de vapor con la corriente principal del mismo, el vapor de proceso es enviado a control de flujo, el cual es establecido por el controlador del relacionador de flujos de vapor/carbón al valor establecido, al mezclador en línea GD-900, donde se mezcla con la corriente de gas natural de carga que proviene del reactor de hidrodesulfurización DC-900. Aproximadamente el 2% del agua de alimentación a generadores se drena a través del acumulador de purgas FA-905 previamente enfriado en el enfriador de purgas EA-913 hacia el drenaje para controlar la calidad de agua en el proceso.

El vapor que no es utilizado como vapor de proceso, es enviado como vapor de exportación al L.B. y al cabezal de Refinería.

#### Tratamiento de Condensado.

Para ajustar la calidad del agua, se deberán dosificar reactivos químicos al agua de alimentación a generadores tales como envoltante de oxígeno y fosfatos a través de los paquetes de dosificación de reactivos PA-901 y 902.

#### **Cabezal de Desfogue.**

Durante la operación normal, ninguna corriente deberá mandarse al desfogue, solamente durante el arranque o en condiciones de ajustes, gases combustibles serán enviados al desfogue.



### 3.3 CRITERIOS PARA SELECCIONAR LOS NODOS.

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

Los nodos se establecen a partir de la función que cumple el equipo, líneas de proceso, líneas de combustible, líneas de subproductos y de dirección de flujo.

Un nodo puede incluir uno o varios equipos, individuales o compuestos, que en su conjunto cumplen una misión en el proceso o instalación.

Un nodo puede incluir uno o varios equipos, como los mencionados anteriormente, que aunque no cumplen una misión común, manejan variables de proceso que no varían en forma significativa.

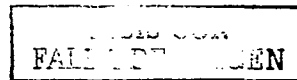
### 3.4 NODOS SELECCIONADOS.

La planta de hidrógeno fue dividida en once nodos; los cuales fueron seleccionados por un cambio de propiedades de la carga o por equipos críticos o líneas críticas.

**Nodo 1:** Precalentador de agua de caldera EA-905.

Desviación analizada:

- Alta presión.



**Nodo 2:** Reformador con Vapor BA-900.

Desviaciones analizadas:

- Alta temperatura en el reformado.
- Baja temperatura en el reformado.
- Alta presión en el hogar del reformador BA-900.
- Alta temperatura en los gases de combustión.
- Baja temperatura en los gases de combustión.
- Bajo flujo al reformador BA-900.

**Nodo 3:** Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

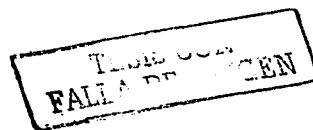
Desviaciones analizadas:

- Alta temperatura en el reactor DC-900.
- Baja temperatura en el reactor DC-900.
- Reacción de Hidrodesulfuración incompleta.
- Adsorción de H<sub>2</sub>S incompleta.
- Baja presión en el reactor DC-900.

**Nodo 4:** Reactor de Conversión de CO, DC-901.

Desviaciones analizadas:

- Alta temperatura en el reactor DC-901.
- Baja temperatura en el reactor DC-901.
- Reacción de conversión incompleta.

**Nodo 5:** Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

Desviaciones analizadas:

- Alta temperatura de los gases de combustión.
- Baja temperatura de los gases de combustión.
- Alta concentración de azufre en los gases de combustión.



---

**Nodo 6:** Gas reformado del BA-900 hasta el DC-901.

Desviaciones analizadas:

- Alta temperatura del gas reformado.
- Menos flujo de gas reformado.

**Nodo 7:** Tanque de Vapor, FA-904.

Desviación:

- Alto nivel de agua de caldera en el FA-904.

**Nodo 8:** Tanques Adsorbedores, FA-911 al FA-920.

Desviación:

- Adsorción incompleta.

**Nodo 9:** By-pass al precalentador de aire para combustión EA-910.

Desviación:

- Más temperatura en la salida de los gases de combustión.

**Nodo 10:** Implementar conexión de gas natural (de baja presión) al cabezal de gas combustible de la planta de hidrógeno.

Desviación:

- Sustitución de gas combustible del BA-900 por gas natural.

**Nodo 11:** Modificación al funcionamiento del FIC-913.

Desviación:

- Cambio en el funcionamiento del FIC-913.

### **3.5 HOJAS DE REGISTRO DEL ANÁLISIS HAZOP EN LA PLANTA DE HIDRÓGENO.**

A continuación se presentan las hojas de registro del análisis HazOp en la planta de hidrógeno.



**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Recuperación de calor de desecho.

**Fecha:** 16 de agosto de 2002

**Nodo:** 1. EA-905, Precalentador de agua de caldera.

**Diagramas:** 03-12-1-087

**Producto:** Agua de caldera, Hidrógeno, CO, CO2, CH4, Vapor

**Desviación:** 1. Menos Presión en el agua de caldera.

**LOI:**

**LOS:**

**LSI:**

**LSS:**

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
1. Ruptura de tubos de precalentador EA-905.	1. Alto nivel en FA-900 y los tanques FA-901 y FA-902. 2. Bajo nivel en el FA-904. 3. Daños en las mallas de la unidad PSA por exceso de humedad en la carga. 4. Paro de planta.	1. Indicador-Controlador de nivel del FA-900, LIC-830. 2. Programa de mantenimiento preventivo a cambiadores de calor. 3. Indicador y control de nivel del FA-901 y FA-902.	1. En cada reparación general realizar prueba hidrostática a todos los cambiadores de calor. 2. Revisar si el EA-905 cuenta con mampara de choque, si no cuenta instalarla para evitar choque directo del flujo de agua de caldera. 3. Cambiar el diseño del EA-905 de espejo fijo a uno de espejo flotante de carcasa y tubos.	1 (1)	2 (3)	3 (4)	B

TESIS C...  
 P...  
 ...



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 1. Alta Temperatura en el reformado.

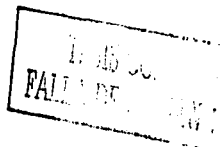
LOI:

LOS:

LSI: 650°C

LSS: 875°C

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
2 1.Falla del TIC-901 (TV-901, controlador de temperatura de entrada del gas natural al reformador).	1. Mayor conversión de vapor y gas natural a hidrogeno. 2. Mayor temperatura en el FA-904. 3. Mayor temperatura a la salida del reformador BA-900. 3.Disparo del reformador BA-900. 4. Carbonización del catalizador.	1. Programa de mantenimiento a equipos. 2. Indicador de temperatura promedio TI-927E. 3. TIC-923 (controlador de la temperatura de reacción). 4. Disparo por alta temperatura TSHH-927.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	3 (3)	2 (3)	6 (7)	D
3 2.Alta Presión del Gas de cola o gas combustible.	1. Mayor conversión de vapor y gas natural a hidrogeno. 2. Reducción de la vida útil de los tubos reactores del reformador BA-900. 3. Alta temperatura de los gases de combustión. 4. Aumento en la presión en hogar del reformador. 5. Carbonización en el catalizador.	1. Tomas de lectura de presión en cada tubo. 2. PIC-929 (gas combustible de red general de refinería) 3. PSHH-923 A/B/C disparo por alta presión del gas residual. 4. PSHH-927A/B/C disparo por alta presión del gas combustible. 5. PAH-923D Alarma por alta presión de gas residual. 6. PAH-927D Alarma por alta presión de gas combustible.	1. Adquirir equipo para realizar inspección ultrasónica por el exterior de los tubos del reformador BA-900. 2. Realizar la inspección ultrasónica por el exterior de los tubos del reformador BA-900 en cada reparación de planta o cada 3 años, lo que suceda primero. 3. Realizar prueba con escantillón a los tubos del reformador BA-900.	2 (2)	3 (3)	6 (6)	C





Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 1. Alta Temperatura en el reformado.

LOI:

LOS:

LSI: 650°C

LSS: 875°C

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
		7. PIC-9580 controlador indicador de presión de gas residual.						
4	3.Falla del FQIC-920 (FV-920, controlador de flujo de entrada de gas combustible al reformador).	1. Mayor conversión de vapor y gas natural a hidrogeno. 2. Reducción de la vida útil de los tubos reactores del reformador BA-900. 3. Alta temperatura de los gases de combustión. 4. Aumento en la presión en hogar del reformador. 5. Carbonización en el catalizador.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Operación con la válvula del by-pass de la FV-920. 3. TIC-923 Disparo por alta temperatura.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2 (3)	3 (3)	6 (7)	D
5	4.Falla en el relacionador cuando baja la relación vapor/carbón.	1. carbonización del catalizador. 2. Alta presión diferencial. 3. Daños en los tubos reactores. 4. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Alarma y disparo por baja relación de vapor/carbón FSLL-912 (over ride). 3. Relacionador para el aumento o disminución de carga programable por tiempos. 4. Prueba de deformación exterior con escantillón a los tubos del reformador BA-900.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Adquirir equipo para realizar inspección ultrasónica por el exterior de los tubos del reformador BA-900. 3. Realizar la inspección ultrasónica por el exterior de los tubos del reformador BA-900 en cada reparación de planta o cada 3 años, lo que suceda primero. 4. Realizar prueba de deformación del diámetro exterior de los tubos del	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C

TESIS CON  
 FALLA DE...  
 EN





Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 1. Alta Temperatura en el reformado.

LOI:

LOS:

LSI: 650°C

LSS: 875°C

Causa

Consecuencias

Protecciones

Recomendaciones

F G R Clase

reformador BA-900.

5. Dar capacitación constante al personal de instrumentación y operación en los lógicos de protección de la planta.

TESIS CON  
FALLA DE  
EN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 2. Baja Temperatura en el reformado.		LOI:	LOS:	LSI:	LSS:			
Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
6	1. Baja Presión en el gas de cola o gas combustible.	1. Alarma y disparo por baja temperatura TIC-923.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2	2	4	C	
		2. Pérdidas por falta de eficiencia en el proceso.	2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	(2)	(3)	(6)		
		3. Baja en la producción de vapor.	3. Disparo por baja relación vapor/carbón FSL-912.					
		4. Baja producción de hidrogeno.	4. Programa de mantenimiento y verificación de las protecciones de instrumentos.					
7	2. Falta del TIC-901 (TV-901, controlador de temperatura de entrada del gas natural al reformador).	1. Menor conversión de vapor y gas natural a hidrogeno.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	3	4	9	D	
		2. Pérdidas por falta de eficiencia en el proceso.	2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	(3)	(4)	(9)		
		3. Baja en la producción de vapor.						
		4. Baja producción de hidrogeno.						
8	3. Falta del FQIC-920 (FV-920, controlador de flujo de entrada de gas combustible del reformador).	1. Menor conversión de vapor y gas natural a hidrogeno.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	2	2	4	C	
		2. Pérdidas por falta de eficiencia en el proceso.	2. PIC-929 Alarma y disparo por alta y baja presión del gas combustible.	(3)	(2)	(6)		
		3. Baja en la producción de vapor.	3. Señal redundante de los transmisores de presión PT-927A/B/C (2 de 3).					

TESIS CO.  
FALLA DE OPERACIÓN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH4, Vapor de Agua, CO, CO2

Desviación: 2. Baja Temperatura en el reformado.

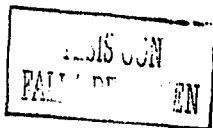
LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	4. Baja producción de hidrogeno.	4. Separador de liquidos del gas LG-922.	de la planta. 4. Incluir en la toma de lectura diaria al LG-922, y si se presenta alta, purgarla.				
9 4. Falla en el relacionador vapor/carbón (aumento de la relación vapor/carbón).	1. Menor conversión de vapor y gas natural a hidrogeno. 2. Pérdidas por falta de eficiencia en el proceso. 3. Baja en la producción de vapor. 4. Baja producción de hidrogeno.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento. 3. Dar capacitación constante al personal de instrumentación y operación en los lógicos de protección de la planta.	2 (3)	3 (4)	6 (9)	D





Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

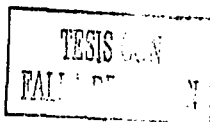
Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 3. Alta Presión en el hogar del reformador BA-900    LOI: -10 mm H<sub>2</sub>O    LOS: -1 mm H<sub>2</sub>O    LSI: -30 mm H<sub>2</sub>O    LSS: 20 mm H<sub>2</sub>O

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
10 1. Obstrucción de los intercambiadores de calor EA-909, EA-910.	1. Disminución de la carga. 2. Incidencia de las flamas sobre los tubos reactores. 3. Disminución de la vida de los tubos reactores. 4. Deformación de las paredes del reformador BA-900. 5. Paro de planta.	1. No hay.	1. Contar con un gas combustible limpio (libre de azufre).	2 (2)	2 (2)	4 (4)	B
11 2. Falla en el PIC-920 (PV-920).	1. Incidencia de las flamas sobre los tubos reactores. 2. Alta temperatura en el hogar del reformador. 3. Disminución de la vida de los tubos reactores. 4. Deformación de las paredes del reformador BA-900. 5. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C
12 3. Falla en el FIC-914 (FV-914).	1. Incidencia de las flamas sobre los tubos reactores. 2. Disminución de la vida de los tubos reactores. 3. Deformación de las	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C





**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Reformación con vapor

**Fecha:** 31 de julio de 2002

**Nodo:** 2. Reformador con Vapor BA-900.

**Diagramas:** 03-12-1-085

**Producto:** Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

**Desviación:** 3. Alta Presión en el hogar del reformador BA-900      **LOI:** -10 mm H<sub>2</sub>O      **LOS:** -1 mm H<sub>2</sub>O      **LSI:** -30 mm H<sub>2</sub>O      **LSS:** 20 mm H<sub>2</sub>O

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

paredes del reformador BA-900.

4. Paro de planta.



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 4. Alta Temperatura en los gases de combustión. LOI: LOS: LSI: LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
13 1. Alta Presión del Gas de cola o gas combustible.	1. Daño del soplador GC-901.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos (válvulas).	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D
	2. Incidencia de las flamas sobre los tubos reactores.	2. Disparo del reformador por alta-alta presión en el gas combustible, PS-927A.	2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.				
	3. Disminución de la vida de los tubos reactores.	3. Disparo del reformador por alta-alta presión en el gas de cola, PS-923A/B/C.					
	4. Deformación de las paredes del reformador BA-900.	4. Disparo del reformador por alta temperatura en el reformador.					
	5. Paro de planta.						
14 2. Baja carga de CH <sub>4</sub> y vapor de agua al reformador.	1. Daño del soplador GC-901.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. No hay.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D
	2. Incidencia de las flamas sobre los tubos reactores.	2. Relacionador de vapor/H <sub>2</sub> C.					
	3. Disminución de la vida de los tubos reactores.						
	4. Deformación de las paredes del reformador BA-900.						
	5. Paro de planta.						
15 3. Bypass del EA-910.	1. Fuga por los sellos de las pernianas (PV-920) por alta temperatura.	1. Alarma y disparo ETA-910 por calentamiento del motor del GC-901.	1. Reponer el EA-910 a la brevedad posible por un equipo que sea mas fácilmente su mantenimiento y su funcionalidad de montaje.	1 (1)	2 (2)	3 (3)	A
	2. Daños al soplador GC-901 (calentamiento de los	2. Indicador de temperatura TI-905 y TI-917.	2. Mantener cerrado el by-pass del EA-				

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 4. Alta Temperatura en los gases de combustión.      LOI:      LOS:      LSI:      LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	baleros) por alta temperatura.		908 para recuperar el máximo de calor.				
	3. Alta temperatura de gases de descarga a la atmósfera (aprox. 280-300°C).	3. Disparo por bajo flujo y baja presión del aire de combustión, FT-914 y PT-928.	3. Adquirir persianas de repuesto para la PV-920.				
	4. Mayor gasto de gas combustible por menor temperatura en el aire de combustión.		4. Usar como combustible gas natural en vez de gas combustible de la red.				
	5. Probable deformación de los ductos donde no hay recubrimiento térmico.		5. No operar con el by-pass más de 3 meses, ya que a medida que no se sustituya el EA-910 el daño ocasionado a los equipos involucrados puede ser irreversible.				
	6. Aumento del volumen de gases de combustión a desplazar por parte del GC-901.		6. Operar con el by-pass a bajas cargas (máximo 50% según diseño).				
	7. Aumento de la temperatura ambiental en la parte final de la sección de recuperación de calor residual.		7. Tener confiable los perfiles de temperatura de los gases de combustión y dar seguimiento a estas indicaciones.				
	8. Mayor carga de trabajo para el segundo precalentador de aire de combustión EA-906 (diferencia de temperatura de aprox. 500°C).		8. La operación del soplador debe ser monitoreada por el personal de mantenimiento.				
			9. Dar seguimiento a la toma de temperatura del exterior de los ductos posteriores al EA-910.				
			10. Recalibrar el FT-914 (aire de combustión) por diferencia de temperatura.				

**TEMIS CON FALLA DE COMBUSTION**



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 4. Alta Temperatura en los gases de combustión.      LOI:      LOS:      LSI:      LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	2. Mayor consumo de gas combustible en el reformador.	2. TIC-915. 3. TT-909.					
	3. Daños al soplador GC-901 (calentamiento de los baleros) por alta temperatura.						

TESIS CON  
 FALTA DE  
 EN





Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 5. Baja Temperatura en los gases de combustión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
17 1. Baja Presión del Gas de coque o gas combustible.	1. Baja conversión en la reacción de reformación. 2. Pérdida de producción. 3. Paro de planta.	1. Si la baja presión se debe al atascamiento de la válvula controladora, usar la línea de bypass. 2. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Cambiar suministro de gas combustible por gas natural. 2. Realizar los cambios necesarios, de acuerdo al punto 1, para que el gas vaya libre de impurezas.	2 (2)	2 (3)	4 (6)	C
18 2. Incondensables en el Gas Combustible.	1. Baja conversión en la reacción de reformación. 2. Pérdida de producción. 3. Paro de planta.	1. Si la baja presión se debe al atascamiento de la válvula controladora, usar la línea de bypass. 2. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Instalar sistema de filtrado y separación de incondensable en la red de gas combustible.	2 (2)	2 (3)	4 (6)	C

TEJIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor

Fecha: 31 de julio de 2002

Nodo: 2. Reformador con Vapor BA-900.

Diagramas: 03-12-1-085

Producto: Hidrógeno, CH<sub>4</sub>, Vapor de Agua, CO, CO<sub>2</sub>

Desviación: 6. Bajo Flujo al reformador BA-900.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
19 1. Falla en el FIC-913 (FV-913, controlador de flujo de vapor)	1. Baja conversión en la reacción de reformación. 2. Aumento de la temperatura en el reformador. 3. Carbonización del gas natural en los tubos reactores. 4. Depósito de carbón en el catalizador. 5. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Relacionador de carga vapor/HC. 3. Disparo por bajo flujo de vapor FIC-913.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C
20 2. Falla en el FIC-910 (FV-910, controlador de flujo de gas natural)	1. Bajo rendimiento en la reacción de reformación. 2. Aumento de la temperatura en el reformador. 3. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Relacionador de carga vapor/HC. 3. Disparo por bajo flujo de gas natural FIC-910/B17.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Desulfuración.

Fecha: 23 de agosto de 2002

Nodo: 3. Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S

Desviación: 1. Alta Temperatura en el reactor DC-900

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
21 1. Alta concentración de azufre en la corriente de alimentación de gas natural a la planta.	1. Depósito de carbón en el catalizador. 2. Saturación rápida del adsorbente (ZnO) del reactor DC-900. 3. Presionamiento del reactor de hidrodesulfuración. 4. Producto fuera de especificación. 5. Daños al catalizador de reformación.	1. Tomas de muestra en la línea de alimentación. 2. Tomas de muestra en el reactor y el adsorbente del reactor. 3. Analizador de azufre en el efluente del reactor, AT-930. 4. Indicador y alarma por alta temperatura en el reactor, TT/TAH-930.	1. Tener disponibles los analizadores para mantener el monitoreo en línea. 2. Capacitar al personal encargado de reparar y calibrar los analizadores. 3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	3 (3)	2 (3)	6 (7)	D

TEBIS CON  
FALLA DE PROCESO



Planta: Hidrógeno

Circuito: Desulfuración.

Fecha: 23 de agosto de 2002

Nodo: 3. Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S

Desviación: 2. Baja Temperatura en el reactor DC-900

LOI:

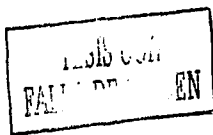
LOS:

LSI:

LSS:

22

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
1. Baja concentración de CO en el reactor DC-901.	<p>1. Reacción de hidrodesulfuración incompleta.</p> <p>2. Reducción de la carga de la planta.</p> <p>3. Desactivación del catalizador de reformación.</p> <p>4. Baja producción de hidrógeno.</p>	<p>1. Indicador de temperatura en la entrada del reactor DC-900, TT-936.</p> <p>2. Análisis en el efluente del reactor DC-901.</p> <p>3. Indicador de temperatura y alarma por baja temperatura en el reactor DC-900, TT-927 y 928.</p> <p>4. Indicador de temperatura en el efluente del reactor DC-901, TT-939.</p>	1. No hay.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D





Planta: Hidrógeno

Circuito: Desulfuración.

Fecha: 23 de agosto de 2002

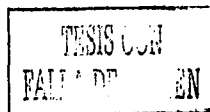
Nodo: 3. Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: CH4, H2S

Desviación: 3. Reacción de hidrodesulfuración incompleta      LOI:      LOS:      LSI:      LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase	
23	1. Catalizador desactivado o con carbón depositado.	1. Alta presión en el reactor DC-900. 2. Alta temperatura en el reactor DC-900. 3. Desactivación del catalizador de reformación. 4. Bajo rendimiento en la producción de la planta. 5. Paro de planta.	1. Indicadores de presión en la entrada y en el efluente del reactor DC-900, PT-934 y 932A. 2. Analizador de azufre en el efluente del reactor DC-900. 3. Tomas de muestra en el reactor DC-900. 4. Indicadores de temperatura en la entrada, en el cuerpo y en el efluente del reactor DC-900, TT-936, 928 y 938A respectivamente. 5. Tomas de muestra en el cuerpo y efluente del reactor DC-900. 6. Reemplazo del catalizador de acuerdo a programa de sustitución de catalizador.	1. No hay.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D
24	2. Baja Temperatura en la línea de carga.	1. Reacción de hidrodesulfuración incompleta. 2. Reducción de la carga de la planta. 3. Desactivación del catalizador de reformación. 4. Baja producción de	1. Indicador de temperatura en la entrada del reactor DC-900, TT-936. 2. Indicador de temperatura y alarma por baja temperatura en el reactor DC-900, TT-927 y 928. 3. Indicador de temperatura en el efluente del reactor DC-901,	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D





Planta: Hidrógeno

Circuito: Desulfuración.

Fecha: 23 de agosto de 2002

Nodo: 3. Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S

Desviación: 3. Reacción de hidrodesulfuración incompleta

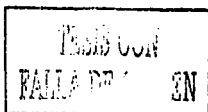
LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	hidrógeno.	TT-939.  4. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.					
25 3. Falla del FIC-930 (FV-930, controlador de flujo de hidrógeno hacia el reactor DC-900).	1. Baja presión en el reactor DC-900.  2. Reacción de hidrodesulfuración incompleta.  3. Reducción de la carga de la planta.  4. Desactivación del catalizador de reformación.  5. Baja producción de hidrógeno.  6. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Capacitación formal constante al personal técnico y operario.  2. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.  3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D





Planta: Hidrógeno

Circuito: Desulfuración.

Fecha: 23 de agosto de 2002

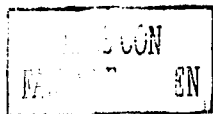
Nodo: 3. Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: CH4, H2S

Desviación: 4. Adsorción de H2S incompleta.      LOI:      LOS:      LSI:      LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
26 1. Adsorbente (ZnO) saturado.	1. Desactivación del catalizador de reformación. 2. Bajo rendimiento en la producción de la planta. 3. Paro de planta.	1. Muestreo del adsorbente. 2. Reemplazo del adsorbente en cada paro institucional. 3. Analizador de azufre en línea en el efluente del reactor DC-900.	1. Tener disponible el adsorbente cuando se realice la sustitución del mismo. 2. Tener disponibles los analizadores para mantener el monitoreo en línea. 3. Capacitar constantemente al personal encargado de reparar y calibrar los analizadores. 4. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D
27 2. Alta concentración de azufre en la línea de carga.	1. Disminución de la vida útil del adsorbente. 2. Desactivación del catalizador de reformación. 3. Bajo rendimiento en la producción de la planta. 4. Paro de planta.	1. Toma de muestra en la línea de carga de gas natural a la planta. 2. Muestreo del adsorbente. 3. Reemplazo del adsorbente en cada paro institucional. 4. Analizador de azufre en línea en el efluente del reactor DC-900.	1. Tener disponibles los analizadores para mantener el monitoreo en línea. 2. Capacitar constantemente al personal encargado de reparar y calibrar los analizadores. 3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D





Planta: Hidrógeno

Circuito: Desulfuración.

Fecha: 23 de agosto de 2002

Nodo: 3. Reactor de Hidrodesulfuración y Adsorbedor DC-900.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: CH4, H2S

PLANTA DE HIDRÓGENO

Desviación: 5. Baja Presión en el reactor DC-900

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
28 1. Falia del compresor de hidrógeno GB-900 A/B.	1. Reacción de hidrodesulfuración incompleta. 2. Reducción de la carga de la planta. 3. Desactivación del catalizador de reformación. 4. Baja producción de hidrógeno. 5. Paro de planta.	1. Equipo de relevo. 2. Programa de mantenimiento preventivo.	1. Capacitación formal constante al personal técnico y operario. 2. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	1 (2)	2 (3)	3 (6)	C
29 2. Bajo o nulo flujo de hidrógeno por falla del FIC-930 (FV-930, controlador de flujo de hidrógeno).	1. Reacción de hidrodesulfuración incompleta. 2. Reducción de la carga de la planta. 3. Desactivación del catalizador de reformación. 4. Baja producción de hidrógeno. 5. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Capacitación formal constante al personal técnico y operario. 2. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D

TESIS  
FALIA DE





**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Conversión a Alta Temperatura.

**Fecha:** 20 de agosto de 2002

**Nodo:** 4. Reactor de conversión de CO, DC-901.

**Diagramas:** 03-12-1-086

**Producto:** H2, CO, CO2, H2O

**Desviación:** 1. Alta Temperatura en el reactor DC-901.

**LOI:**

**LOS:**

**LSI:**

**LSS:**

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
30 1. Alta concentración de CO, por aumento de carga en el BA-900.	1. Sobre calentamiento del reactor DC-901.  2. Sobre calentamiento del gas natural de carga al reactor DC-900.  3. Disminución de la adsorción del H2S en la segunda cama del reactor DC-900.  4. Desactivación del catalizador de hidrodesulfuración.	1. Controlador de flujo de gas natural al reformador BA-900, FIC-910.  2. Relacionador vapor/carbón.	1. No hay.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D
31 2. Falla en el TIC-922 (TV-922, controlador de temperatura de entrada al reactor DC-901).	1. Sobre calentamiento del reactor DC-901.  2. Daños al catalizador de conversión.  3. Sobre calentamiento del gas natural de carga al reactor DC-900.  4. Disminución de la adsorción del H2S en la segunda cama del reactor DC-900.  5. Disminución de la temperatura en el FA-904.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Tener disponibilidad de refacciones para las reparaciones de emergencia.  2. Capacitación formal constante al personal técnico y operario.  3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D

JULIO  
 2002  
 FA-904



Planta: Hidrógeno

Circuito: Conversión a Alta Temperatura.

Fecha: 20 de agosto de 2002

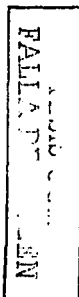
Nodo: 4. Reactor de conversión de CO, DC-901.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: H2, CO, CO2, H2O

Desviación: 2. Baja Temperatura en el reactor DC-901.      LOI:      LOS:      LSI:      LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
32 1. Falla en el TIC-922 (TV-922, controlador de temperatura de entrada al reactor DC-901).	1. Baja conversión de CO a CO2.  2. Baja Temperatura de entrada del gas natural de carga al reactor DC-900.  3. Hidrosulfuración incompleta en el reactor DC-900.  4. Desactivación del catalizador de reformación (BA-900).  5. Rápida saturación de la unidad PSA.  6. Gas de cola con mayor poder calorífico.  7. Menor rendimiento de hidrógeno.  8. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.  2. Control manual (provisional) de la válvula TV-922.	1. Capacitación formal constante al personal técnico y operario.  2. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.  3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.  4. Instalar arreglo primario para la medición de la temperatura (en campo) en la cercanía de la válvula TV-922.	2 (2)	2 (3)	4 (6)	C
33 2. Catalizador del reactor DC-901, desactivado.	1. Nula conversión de CO a CO2.  2. Baja Temperatura de entrada del gas natural de carga al reactor DC-900.  3. Hidrosulfuración incompleta en el reactor DC-900.	1. Tomas de muestra en la carga al reactor DC-901.  2. Manual de operación de la planta.  3. Reemplazo del catalizador de acuerdo a programa de sustitución de catalizador.	1. No hay.	3 (3)	2 (4)	6 (9)	D





Planta: Hidrógeno

Circuito: Conversión a Alta Temperatura.

Fecha: 20 de agosto de 2002

Nodo: 4. Reactor de conversión de CO, DC-901.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: H2, CO, CO2, H2O

Desviación: 2. Baja Temperatura en el reactor DC-901.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	4. Desactivación del catalizador de reformación (BA-900).						
	5. Rápida saturación de la unidad PSA.						
	6. Gas de cola con mayor poder calorífico.						
	7. Menor rendimiento de hidrógeno.						
	8. Paro de planta.						

LEJIS CON  
 FALLA DE OXÍGENO



Planta: Hidrógeno

Círculo: Conversión a Alta Temperatura.

Fecha: 20 de agosto de 2002

Nodo: 4. Reactor de conversión de CO, DC-901.

Diagramas: 03-12-1-086

Producto: H2, CO, CO2, H2O

Desviación: 3. Reacción de conversión incompleta.

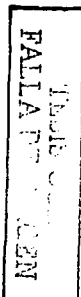
LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
34 1. Catalizador del reactor DC-901, desactivado.	<p>1. Baja temperatura en el reactor DC-901.</p> <p>2. Baja Temperatura de entrada del gas natural de carga al reactor DC-900.</p> <p>3. Hidrosulfuración incompleta en el reactor DC-900.</p> <p>4. Desactivación del catalizador de reformación (BA-900).</p> <p>5. Rápida saturación de la unidad PSA.</p> <p>6. Gas de cola con mayor poder calorífico.</p> <p>7. Menor rendimiento de hidrógeno.</p> <p>8. Paro de planta.</p>	<p>1. Tomas de muestra en la carga al reactor DC-901.</p> <p>2. Manual de operación de la planta.</p> <p>3. Reemplazo del catalizador de acuerdo a programa de sustitución de catalizador.</p>	1. No hay.	3 (3)	2 (4)	6 (9)	D



PLANTA DE HIDRÓGENO



Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 7 de agosto de 2002

Nodo: 5. Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

Diagramas: 03-12-1-084 y 085

Producto: CO2, CO, H2O, O2

Desviación: 1. Alta Temperatura de los gases de combustión. LOI: LOS: LSI: LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
35 1. Alta Presión del Gas de cola o gas combustible.	<p>1. Alta temperatura de la carga al reformador BA-900 (mayor intercambio en los EA-901 y 903).</p> <p>2. Mayor temperatura del vapor sobrecalentado.</p> <p>3. Fuga por los sellos de las persianas (PV-920) por alta temperatura.</p> <p>4. Daños al soplador GC-901 (calentamiento de los baleros) por alta temperatura.</p> <p>5. Alta temperatura de gases de descarga a la atmósfera.</p> <p>6. Aumento del volumen de gases de combustión a desplazar por parte del GC-901.</p> <p>7. Aumento de la temperatura ambiental en la parte final de la sección de recuperación de calor residual.</p>	<p>1. Tomas de lectura de presión en cada tubo.</p> <p>2. PIC-929 (gas combustible de red general de refinería)</p> <p>3. PSHH-923 A/B/C disparo por alta presión del gas residual.</p> <p>4. PSHH-927A/B/C disparo por alta presión del gas combustible.</p> <p>5. PAH-923D Alarma por alta presión de gas residual.</p> <p>6. PAH-927D Alarma por alta presión de gas combustible.</p> <p>7. PIC-9580 controlador indicador de presión de gas residual.</p> <p>8. Indicadores de temperatura después de cada intercambio en el ducto de los gases de combustión, TT-912, 911, 907, 906, 908A, 908B, 917 y 905.</p>	<p>1. La operación del soplador GC-901 debe ser monitoreada por el personal de mantenimiento.</p> <p>2. Dar seguimiento a la toma de temperatura del exterior de los ductos.</p>	2 (2)	3 (3)	6 (6)	C
36 2. Falta del FQIC-920 (FV-920, controlador de flujo de entrada de gas combustible al reformador).	<p>1. Alta temperatura de la carga al reformador BA-900 (mayor intercambio en los EA-901 y 903).</p> <p>2. Mayor temperatura del</p>	<p>1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.</p> <p>2. Indicadores de temperatura después de cada intercambio en el ducto de los gases de</p>	<p>1. Tener disponibilidad de refacciones para las reparaciones de emergencia.</p> <p>2. Capacitación formal constante al personal técnico y operario.</p>	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C

FALTA DE EN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 7 de agosto de 2002

Nodo: 5. Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

Diagramas: 03-12-1-084 y 085

Producto: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>

Desviación: 1. Alta Temperatura de los gases de combustión. LOI: LOS: LSI: LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	vapor sobrecalentado.	combustión, TT-912, 911, 907, 906, 908A, 908B, 917 y 905.	3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.				
	3. Fuga por los sellos de las persianas (PV-920) por alta temperatura.		4. La operación del soplador GC-901 debe ser monitoreada por el personal de mantenimiento.				
	4. Daños al soplador GC-901 (calentamiento de los baleros) por alta temperatura.		5. Dar seguimiento a la toma de temperatura del exterior de los ductos.				
	5. Alta temperatura de gases de descarga a la atmósfera.						
	6. Aumento del volumen de gases de combustión a desplazar por parte del GC-901.						
	7. Aumento de la temperatura ambiental en la parte final de la sección de recuperación de calor residual.						

ESTA TESIS NO SALE  
DE LA BIBLIOTECA

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 7 de agosto de 2002

Nodo: 5. Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

Diagramas: 03-12-1-084 y 085

Producto: CO2, CO, H2O, O2

Desviación: 2. Baja Temperatura de los gases de combustión. LOI: LOS: LSI: LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
37 1. Baja Presión del gas de cola o gas combustible.	1. Baja temperatura en la línea de alimentación al reformador BA-900. 2. Menor temperatura del aire de combustión al reformador BA-900. 3. Menor temperatura del vapor sobrecalentado. 4. Paro de planta.	1. Alarma y disparo por baja temperatura TIC-923 en el reformador BA-900. 2. PIC-9580 control de presión de gas residual. 3. Bypass de la línea de aire de combustión en el EA-908. 4. Programa de mantenimiento y verificación de las protecciones de instrumentos. 5. Indicadores de temperatura después de cada intercambio en el ducto de los gases de combustión, TT-912, 911, 907, 906, 908A, 908B, 917 y 905.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento. 3. Cambiar el diseño de la instalación de gas combustible por gas natural en el cuál se asegure que bajo ninguna circunstancia se mezclará gas combustible (con presencia de azufre) con gas natural. 3. Bajo estudio previo del volumen de alimentación al reformador BA-900, a máxima carga de trabajo, sacar el disparo de la línea de gas natural directamente a la línea de gas combustible del reformador BA-900 con las siguientes protecciones:  a) Orificio de restricción para la disminución de la presión de descarga de gas natural.  b) Válvula reguladora de presión para controlar la presión de entrada al cabezal de gas combustible del reformador.  c) Válvula de seguridad (PSV) en la línea para protegerla de cambios bruscos de presión.  d) Tanque separador de líquidos.	2 (2)	3 (3)	6 (6)	C

TESIS CON  
FALTA DE  
ORDEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 7 de agosto de 2002

Nodo: 5. Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

Diagramas: 03-12-1-084 y 085

Producto: CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>

Desviación: 2. Baja Temperatura de los gases de combustión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa Consecuencias Protecciones Recomendaciones F G R Clase

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
38 2. Falla del FQIC-920 (FV-920, controlador de flujo de entrada de gas combustible al reformador).	1. Baja temperatura en la línea de alimentación al reformador BA-900. 2. Menor temperatura del aire de combustión al reformador BA-900. 3. Menor temperatura del vapor sobrecalentado. 4. Paro de planta.	1. Programa de mantenimiento a instrumentos. 2. Alarma y disparo por baja temperatura TIC-923 en el reformador BA-900. 3. Indicadores de temperatura después de cada intercambio en el ducto de los gases de combustión, TT-912, 911, 907, 906, 908A, 908B, 917 y 905.	Estos cambios deberán hacerse con un estudio realizado por la UEP. 1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad. 2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2 (3)	3 (3)	6 (7)	D

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN





Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 7 de agosto de 2002

Nodo: 5. Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

Diagramas: 03-12-1-084 y 085

Producto: CO2, CO, H2O, O2

Desviación: 3. Alta concentración de azufre en los gases de combustión.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
39 1. Uso de gas combustible del cabezal de la refinera (alto contenido de azufre, de acuerdo a diseño).	1. Corrosión en uno o más de los siguientes equipos: EA-801, EA-903 o soplador GC-901  2. Disminución del tiempo de vida útil de los tubos reactores del reformador BA-900.  3. Daños en la fluxería del reformador BA-900.  4. Paro de planta.	1. No hay.	1. Cambiar el diseño de la instalación por uno en el cual se asegure que bajo ninguna circunstancia se mezclará gas combustible (con presencia de azufre) con gas natural.  2. Bajo estudio previo del volumen de alimentación al reformador BA-900, a máxima carga de trabajo, sacar el disparo de la línea de gas natural directamente a la línea de gas combustible del reformador BA-900 con las siguientes protecciones:  a) Orificio de restricción para la disminución de la presión de descarga de gas natural.  b) Válvula reguladora de presión para controlar la presión de entrada al cabezal de gas combustible del reformador.  c) Válvula de seguridad (PSV) en la línea para protegerla de cambios bruscos de presión.  d) Tanque separador de líquidos.  Estos cambios deberán hacerse con un estudio realizado por la UEP.  3. Instalar toma de muestra para analizar el contenido de azufre en la línea de gas natural propuesta en el	1	2	3	B
				(1)	(3)	(4)	

ASISTENTE CON  
FALLA DE ORIGEN



**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Recuperación de calor de desecho.

**Fecha:** 7 de agosto de 2002

**Nodo:** 5. Salida de los gases de combustión del hogar del BA-900 hasta la chimenea 03-X-900.

**Diagramas:** 03-12-1-084 y 085

**Producto:** CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>

**Desviación:** 3. Alta concentración de azufre en los gases de combustión.

**LOI:**

**LOS:**

**LSI:**

**LSS:**

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
			punto 2.				

TESIS  
FALLA EN  
EN



**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Recuperación de calor de desecho.

**Fecha:** 6 de agosto de 2002

**Nodo:** 6. Gas reformado del BA-900 hasta el DC-901.

**Diagramas:** 03-12-1-087

**Producto:** H2, CO, CO2, H2O

**Desviación:** 1. Alta Temperatura del gas reformado.

**LOI:**

**LOS:**

**LSI:**

**LSS:**

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
40 1. Alta Presión del Gas de cola o gas combustible.	1. Alta temperatura de entrada al reactor DC-901.  2. Alta temperatura en el vapor hacia el FA-904.	1. Tomas de lectura de presión en cada tubo.  2. PIC-929 (gas combustible de red general de refinaria)  3. PSHH-923 A/B/C disparo por alta presión del gas residual.  4. PSHH-927A/B/C disparo por alta presión del gas combustible.  5. PAH-923D Alarma por alta presión de gas residual.  6. PAH-927D Alarma por alta presión de gas combustible.  7. PIC-9580 controlador indicador de presión de gas residual.  8. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.  9. TIC-922 (TV-922, controlador de temperatura de entrada al reactor DC-901).	1. Tener disponibilidad de refacciones para las reparaciones de emergencia.  2. Capacitación formal constante al personal técnico y operario.  3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	2 (2)	3 (3)	6 (6)	C
41 2. Falta en el TIC-922 (TV-922, controlador de temperatura de entrada al reactor DC-901).	1. Alta temperatura de entrada al reactor DC-901.  2. Alta temperatura en el vapor hacia el FA-904.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Tener disponibilidad de refacciones para las reparaciones de emergencia.  2. Capacitación formal constante al personal técnico y operario.	2 (3)	2 (3)	4 (7)	D

TESIS  
 COPIA  
 FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 6 de agosto de 2002

Nodo: 6. Gas reformado del BA-900 hasta el DC-901.

Diagramas: 03-12-1-087

Producto: H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O

Desviación: 1. Alta Temperatura del gas reformado.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa

Consecuencias

Protecciones

Recomendaciones

F G R Clase

3. Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.

LEGIS  
CON  
FALTA DE  
ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Recuperación de calor de desecho.

Fecha: 6 de agosto de 2002

Nodo: 6. Gas reformado del BA-900 hasta el DC-901.

Diagramas: 03-12-1-087

Producto: H2, CO, CO2, H2O

Desviación: 2. Menos Flujo de gas reformado.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
42 1. Falla en el FIC-913 (FV-913, controlador de flujo de vapor)	1. Baja temperatura de entrada al reactor DC-901.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C
	2. Paro de planta.	2. Relacionador de carga vapor/HC. 3. Disparo por bajo flujo de vapor FIC-913.	2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.				
43 2. Falla en el FIC-910 (FV-910, controlador de flujo de gas natural)	1. Baja temperatura de entrada al reactor DC-901.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.	1. Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2 (3)	2 (2)	4 (6)	C
	2. Paro de planta.	2. Relacionador de carga vapor/HC. 3. Disparo por bajo flujo de gas natural FIC-910/917.	2. Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.				

LESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno

Circuito: Reformación con vapor.

Fecha: 15 de agosto de 2002

Nodo: 7. FA-904, Tanque de vapor.

Diagramas: 03-12-1-084

Producto: Vapor de agua, Agua de caldera

Desviación: 1. Alto Nivel de agua de caldera en el FA-904.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
44 1.Falla en abierto de la LV-910.	1. Baja temperatura del agua de caldera del EA-905 al FA-904.  2. Baja temperatura del gas reformado del EA-905 al EA-906.  3. Aumento de la presión del FA-904.  4. Alto nivel del FA-905.	1. Programa de mantenimiento preventivo de instrumentos.  2. Control de presión del FA-904, PIC-910.	1. No hay.	2 (3)	3 (3)	6 (7)	D
45 2.Falla en abierto de la LV-910A.	1. Bajo nivel en el FA-903.  2. Cavitación de las bombas GA-900 y GA-901.  3. Baja temperatura del agua de caldera del EA-905 al FA-904.  4. Baja temperatura del gas reformado del EA-905 al EA-906.	1. Programa de mantenimiento preventivo a instrumentos.  2. Línea de recirculación de flujo de las bombas GA-900 y GA-901.	1. No hay.	2 (3)	3 (3)	6 (7)	D

TESIS CON  
FALLA DE  
EN



**Planta:** Hidrógeno.

**Circuito:** Unidad de adsorción, PSA.

**Fecha:** 8 de agosto de 2002

**Nodo:** 8. Tanques adsorbedores, FA-911 al FA-920.

**Diagramas:** 03-12-1-088

**Producto:** Hidrógeno, CO, CO2, CH4.

**Desviación:** 1. Adsorción incompleta

**LOI:**

**LOS:**

**LSI:**

**LSS:**

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
46 1. Daños en las mallas de adsorción de los tanques adsorbedores.	1. Baja pureza del hidrógeno. 2. Vibración en el compresor GB-900 A/B por succión de hidrógeno con más peso molecular. 3. Producto fuera de especificación.	1. No hay.	1. Si el hidrógeno producto está fuera de especificación, revisar el estado de las mallas durante el próximo paro institucional programado. 2. Operar la unidad PSA con la carga de acuerdo a diseño.	3 (3)	2 (2)	6 (6)	C

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Recuperación de calor de desecho.

**Fecha:** 18 de julio de 2002

**Nodo:** 9. By-pass al precalentador de aire para combustión EA-910.

**Diagramas:** 03-12-1-084

**Producto:** Aire de combustión, gases de combustión.

**Desviación:** 1. Mes temperatura en la salida de los gases de combustión.

**LOI:** 290°C

**LOS:** 320°C

**LSI:** 280°C

**LSS:** 330°C

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
47 1. Se by-pasea el EA-910.	<p>1. Fuga por los sellos de las persianas (PV-920) por alta temperatura.</p> <p>2. Daños al soplador GC-901 (calentamiento de los baleros) por alta temperatura.</p> <p>3. Alta temperatura de gases de descarga a la atmósfera (aprox. 280-300°C).</p> <p>4. Mayor gasto de gas combustible por menor temperatura en el aire de combustión.</p> <p>5. Probable deformación de los ductos donde no hay recubrimiento térmico.</p> <p>6. Aumento del volumen de gases de combustión a desplazar por parte del GC-901.</p> <p>7. Aumento de la temperatura ambiental en la parte final de la sección de recuperación de calor residual.</p> <p>8. Mayor carga de trabajo para el segundo precalentador de aire de combustión EA-908</p>	<p>1. Alarma y disparo ETA-910 por calentamiento del motor del GC-901.</p> <p>2. Indicador de temperatura TI-905 y TI-917.</p> <p>3. Disparo por bajo flujo y baja presión del aire de combustión, FT-914 y PT-928.</p>	<p>1. Reponer el EA-910 a la brevedad posible por un equipo que sea mas fácilmente su mantenimiento y su funcionalidad de montaje.</p> <p>2. Mantener cerrado el by-pass del EA-908 para recuperar el máximo de calor.</p> <p>3. Adquirir persianas de repuesto para la PV-920.</p> <p>4. Usar como combustible gas natural en vez de gas combustible de la red.</p> <p>5. No operar con el by-pass más de 3 meses, ya que a medida que no se sustituya el EA-910 el daño ocasionado a los equipos involucrados puede ser irreversible.</p> <p>6. Operar con el by -pass a bajas cargas (máximo 50% según diseño).</p> <p>7. Tener confiable los perfiles de temperatura de los gases de combustión y dar seguimiento a estas indicaciones.</p> <p>8. La operación del soplador debe ser monitoreada por el personal de mantenimiento.</p> <p>9. Dar seguimiento a la toma de temperatura del exterior de los ductos posteriores al EA-910.</p>	1 (1)	2 (2)	3 (3)	A

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN





**Planta:** Hidrógeno      **Circuito:** Recuperación de calor de desecho.      **Fecha:** 18 de julio de 2002

**Nodo:** 9. By-pass al precalentador de aire para combustión EA-910.

**Diagramas:** 03-12-1-084      **Producto:** Aire de combustión, gases de combustión.

**Desviación:** 1. Mas temperatura en la salida de los gases de combustión.      **LOI:** 290°C      **LOS:** 320°C      **LSI:** 280°C      **LSS:** 330°C

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
	(diferencia de temperatura de aprox. 500°C).		10. Recalibrar el FT-914 (aire de combustión) por diferencia de temperatura.				

TESIS CON  
 FALTA DE CUBRIMIENTO



**Planta:** Hidrógeno

**Circuito:** Gas combustible

**Fecha:** 18 de julio de 2002

**Nodo:** 10. Implementar conexión de gas natural (de baja presión) al cabezal de gas combustible de la planta de hidrogeno.

**Diagramas:** 27-12-1-6001

**Producto:** Gas Natural

**Desviación:** 1. Sustitución del gas combustible del BA-900 por gas natural. **LOI:** **LOS:** **LSI:** **LSS:**

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
48 1. Conexión de línea de salida de FA-132 (gas natural) a línea de consumo de gas combustible del reformador BA-900.	<p>1. Se reducirá la concentración de azufre en el gas a quemar en el reformador BA-900, pero no se eliminará.</p> <p>2. De acuerdo al diseño planeado para la conexión, existe la contaminación del gas natural con gas combustible de la refinería que contiene de 0.2 a 0.4 % en peso, y en ocasiones se dispara hasta el 2%, con una presión de trabajo normal de 4.5 a 5 kg/cm<sup>2</sup> llegando en ocasiones hasta los 7.5 kg/cm<sup>2</sup> (en el FA-1804B).</p> <p>3. Hay contaminación del gas natural que entra al FA-132 con gas combustible que se produce dentro del mismo sector (unidades 400-2 y 500-2).</p>	<p>1. PSV del FA-132.</p> <p>2. PSV del FA-1804B (Tanque de gas combustible del sistema para plantas antiguas.</p>	<p>1. Cambiar el diseño de la instalación por uno en el cual se asegure que bajo ninguna circunstancia se mezclará gas combustible (con presencia de azufre) con gas natural.</p> <p>2. Bajo estudio previo del volumen de alimentación al reformador BA-900, a máxima carga de trabajo, sacar el disparo de la línea de gas natural directamente a la línea de gas combustible del reformador BA-900 con las siguientes protecciones:</p> <p>a) Orificio de restricción para la disminución de la presión de descarga de gas natural.</p> <p>b) Válvula reguladora de presión para controlar la presión de entrada al cabezal de gas combustible del reformador.</p> <p>c) Válvula de seguridad (PSV) en la línea para protegerla de cambios bruscos de presión.</p> <p>d) Tanque separador de líquidos.</p> <p>Estos cambios deberán hacerse con un estudio realizado por la UEP.</p>	3 (3)	1 (1)	4 (4)	B

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



Planta: Hidrógeno.

Circuito: Reformación con Vapor.

Fecha: 23 de julio de 2002.

Nodo: 11. Modificación al funcionamiento del FIC-913.

Diagramas: 03-12-1-084

Producto: Vapor de agua.

Desviación: 1. Cambio en el funcionamiento del FIC-913.

LOI:

LOS:

LSI:

LSS:

Causa	Consecuencias	Protecciones	Recomendaciones	F	G	R	Clase
49 1.El control FIC-913 (controlador de flujo de vapor al reformador BA-900) trabaja en automático, y si se presenta una variación brusca de flujo hacia arriba, ya sea falla del sensor, falla de voltaje o de la señal del transmisor, cerrará la válvula FV-913. Este incidente ya se ha presentado en la planta de hidrógeno.	1. La válvula FV-913 cerrará por el "aumento del flujo". 2. Se suspenderá en flujo de vapor al reformador BA-900. 3. Se dañarán los tubos del reformador por quedarse sin refrigerante. 4. Paro de planta.	1. Disparo de planta por baja relación vapor/gas, FFSSL-912, actuando a 2.3.	1. Configurar el controlador FIC-913 de la siguiente manera:  Estando el control en AUTOMÁTICO, si falla la señal del transmisor, el sensor o el voltaje de alimentación del mismo, la válvula FV-913 sólo se cerrará hasta llegar a un 20% de abertura, y se mantendrá en esta posición. El control FIC-913 pasará entonces de AUTOMÁTICO a MANUAL, y al cumplirse esta condición alamará en el sistema de control distribuido, sonora y visiblemente, para que el operador esté enterado del cambio ocurrido en el control.  Se requiere que la válvula tenga esta abertura para mantener el flujo mínimo necesario hacia los tubos del reformador BA-900 y evitar daños en los mismos.  2. Difusión de los cambios al personal de operación y capacitación de los mismos a través de pláticas informativas por los técnicos operativos del sector.  3. Actualización del procedimiento de operación de la planta.	1 (1)	1 (2)	1 (3)	A

TESIS CON  
FALTA DE  
LEN



---

**3.6 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DEL ÁRBOL DE FALLAS.**

---

En este trabajo de tesis se utilizó el árbol de fallas que es una técnica deductiva que emplea diagramas o gráficos tomando en cuenta el evento culminante y siguiendo una secuencia de fallas utilizando las probabilidades que se presenten y que puedan ocasionar un accidente; además identifica los riesgos que se encuentran asociados con la operación del sistema.

Para obtener los resultados del AAF se identificaron todas las posibles causas que pudieran conducir al evento culminante, el cual denota un cambio dinámico que le ocurre a un elemento. Los elementos del sistema incluyen el equipo, la operación, condiciones ambientales, factores humanos, etc.

Se escogió como evento culminante el "Incendio en el Reformador BA-900", el cual puede ocurrir si se presenta una ruptura de un tubo-reactor en el reformador con vapor. Esta falla fue detectada en el estudio HazOp.

Se obtuvo una probabilidad de ocurrencia para este evento de  $3.54 \times 10^{-5}$ , expresado este valor en % de ocurrencia en un año nos da un valor de 0.0000354%.

Véase el diagrama de Árbol de Fallas FQ-AAF-01 en el Apéndice A.

Véase la tabla de probabilidades en el Apéndice B.



---

**3.7 RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**

---

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 o cuanto líquido inflamable hay en el derrame que se ha incendiado.

Para evaluar los efectos de incendio, explosión y dispersión de sustancias tóxicas en la planta Hidros II, 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 es aceptado en México por el Instituto Nacional de Ecología (INE) y las compañías reaseguradoras, en los Estados Unidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) y la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional (OSHA), para la determinación de consecuencias en una evaluación de riesgo.

Como escenario se escogió nuevamente el reformador con vapor BA-900, por ser las condiciones de operación de este equipo críticas; se simuló con ayuda del software antes mencionado y se simuló una fuga en el BA-900 dando este como resultado un evento denominado Jet Fire.

**Jet Fire:** Este se presenta cuando una sustancia inflamable es liberada de un recipiente (contenedor, tubería) sujeto a presión en forma de "jet" y es encendida. El peligro del chorro de fuego es la radiación térmica y depende de la distancia que alcance el "jet" y el tiempo de exposición.



Para realizar la simulación con el software Phast se tomaron las siguientes consideraciones:

- El orificio formado por corrosión es de forma regular.
- Se contempló un tiempo para la detección y control de la fuga de 600 segundos tomando en cuenta que este es el tiempo máximo para que el personal de PEMEX: detecte el evento y tome las acciones pertinentes.
- Básicamente se consideraron tres condiciones ambientales: en la primera se consideró una velocidad del viento de 1.5 m/s con estabilidad ambiental clase F por ser las condiciones meteorológicas para el peor escenario de acuerdo con el INE y con el "RMP Offsite Consequence Analysis" de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA); "en la segunda se utilizó la velocidad del viento promedio de la región de 5.5 m/s, con una estabilidad ambiental clase C por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo" y como tercera condición se utilizó una 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 38 °C y una humedad relativa media anual de 68 %.
- Los radios de afectación por radiación se determinaron a partir de la evaluación de diferentes flujos térmicos los cuales se muestran en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1 Niveles de Radiación.**

<b>RADIACIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
1,4 kW/m <sup>2</sup> (443 BTU/h/ft <sup>2</sup> )	Es el flujo térmico equivalente al del sol en verano y al medio día. Este limite se considera como <b>zona de seguridad</b> .
5,0 kW/m <sup>2</sup> (1 585 BTU/h/ft <sup>2</sup> )	Nivel de radiación térmica suficiente para causar daños al personal si no se protege adecuadamente en 20 segundos, sufriendo quemaduras hasta de 2º grado sin la protección adecuada. Esta radiación será considerada como limite de <b>zona de amortiguamiento</b> .
12,5 kW/m <sup>2</sup> (3 963 BTU/h/ft <sup>2</sup> )	Es la energía mínima requerida para la ignición pilotada de la madera y fundición de tubería de plástico. Con 1% de letalidad en 1 minuto. Esta radiación se considerará para el personal y las instalaciones como <b>zona de alto riesgo</b> .

Tesis de  
PALLA DE OSMO



Tabla 3.2 Datos Requeridos

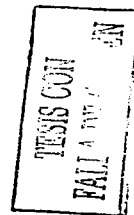
ESCENARIO	DATOS INICIALES	
	Parámetros de Operación	Propiedades Físicas de las Sustancias Involucradas
1. Incendio en el reformador con vapor BA-900.	T = 650 °C P = 23.05 bar	Estos datos los calcula el paquete PHAST cuando se define la mezcla en estudio.  Se hace el modelamiento con una mezcla de los siguientes elementos y compuestos: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Hidrógeno.</li> <li>• CH<sub>4</sub>.</li> <li>• CO<sub>2</sub>.</li> <li>• CO.</li> <li>• N<sub>2</sub>.</li> <li>• H<sub>2</sub>O.</li> </ul>

## Incendio en el reformador con vapor BA-900

El incendio en el reformador BA-900 se presenta con una fuga con un flujo de 16.67 kg/s. Esta fuga es provocada por la ruptura total de los tubos reactores y considerando una masa de 10,000 kg descargados en 10 minutos. Considerando un tiempo máximo promedio de control de 600 s, se espera que como evento máximo probable y máximo catastrófico ocurra el evento conocido como **Jet Fire** con los siguientes radios de afectación:

Tabla 3.3 Radios de Afectación

Nivel de radiación		Jet Fire		
		1.4 kw/m <sup>2</sup>	5 kw/m <sup>2</sup>	12.5 kw/m <sup>2</sup>
		Distancia (m)	Distancia (m)	Distancia (m)
Categorías	1.5 m/s, F	113.83	80.82	60.84
	4.0 m/s, D	100.47	68.32	47.8352
	5.5 m/s, C	97.58	65.12	44.63





Para el caso de los radios de afectación por radiación con las condiciones del área de la refinería (en letras negritas de la tabla anterior), se presentan en el diagrama FQ-AC-01 en el apéndice A y en forma más detallada se ilustran los radios de afectación en los diagramas FQ-AC-02, FQ-AC-03, FQ-AC-04, en las siguientes páginas.



10-20-64 (10)

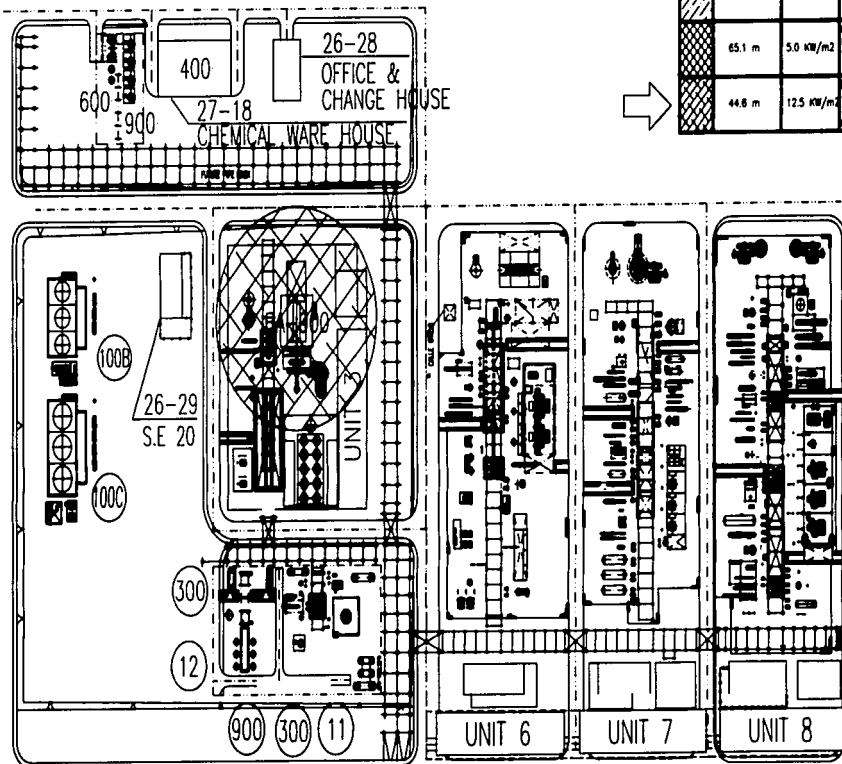
LEGEND

- CYCLING MESH
- PAULINGS
- NEW PLANTS, NEW INSTALLATIONS
- NEW HIGH EQUIPMENT
- NEW AREA REQUIRED
- D.L.C. THAT PROPOSED FOR THE
- OPTIC FIBER TO COC NO.2
- NEW WALL
- WALL TO BE DEMOLISHED
- NEW PIPE RACK
- NEW SLEEPER
- EXISTING PIPE RACK
- EXISTING SLEEPER

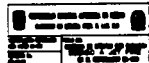
NO	SYSTEM	PROCESS PLANTS
1	7	HYDROTREATING PLANT FOR COCKER GAS OIL
2	4	WTR PLANT NO.2
3	8	HYDROGEN PLANT
4	5A	ALKYLATION PLANT WITH PRETREATMENT NO.2
5	5	SULFUR RECOVERY PLANT NO.4
6	6	NAPHTHA REFORMER PLANT NO.2 WITH COR
7	1	NAPHTHA HYDRODESULFUR. PLANT NO.2
8	2	HYDRODESULFUR. OF WATER DISTILLED PRODUCT PLANT NO.3
9	9	SULFUR WATER STRIPPING PLANT NO.7 & 8
26	11	FLAME KNOCK OUT DRUM
28	12	PSA
29	13	GAS SWEETENING SYSTEM



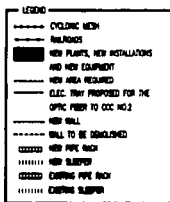
	DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	DESCRIPCION DEL DAÑO
▨	97.5 m	1.4 kW/m <sup>2</sup>	FLUJO TERMICO EQUIVALENTE AL SOL EN VERANO Y AL MEDIO DA ZONA DE SEGURIDAD
▩	65.1 m	5.0 kW/m <sup>2</sup>	CAUSA DAÑOS AL PERSONAL SI NO SE PROTEGE ADECUADAMENTE EN 20 SEG. SUFRIENDO QUEMADURAS DE 2º GRADO ZONA DE ALTO RIESGO
▧	44.6 m	12.5 kW/m <sup>2</sup>	ENERGIA MINIMA PARA LA IGNICION PROTEGIDA DE LA MADERA Y FUNDICION DE TUBERIA DE PLASTICO CON 18 DE LETALIDAD EN 1 MIN ZONA DE ALTO RIESGO



INVENTARIO  
 DE EQUIPOS



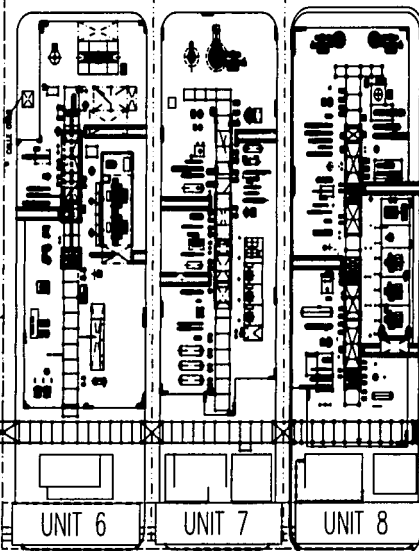
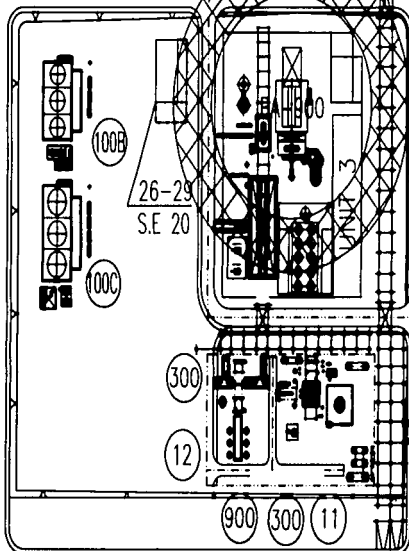
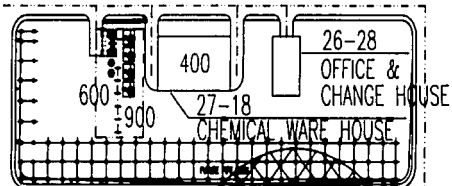
10-20-84 (a)



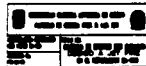
NO	SYSTEM	PROCESS PLANTS
1	7	HYDROTREATING PLANT FOR COKE GAS OIL
2	4	WTE PLANT NO.2
3	8	HYDROGEN PLANT
4	5,5A	ALUMINATION PLANT WITH PRETREATMENT NO.2
5	6	SULFUR RECOVERY PLANT NO.4
6	3	NAPHTHA REFORMER PLANT NO.2 WITH COK
7	1	NAPHTHA HYDRODESULFUR. PLANT NO.2
8	2	HYDRODESULFUR. OF INTER. DISTILLED PRODUCT PLANT NO.3
9	9	SOLAR WATER STRIPPING PLANT NO.7 & 8
10	11	FLARE STACK OUT DRAIN
12	12	PSA
13	13	GAS SHEETING SYSTEM



DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	DESCRIPCION DEL DAÑO
97.5 m	1.4 kW/m <sup>2</sup>	FLUJO TERMICO EQUIVALENTE AL SOL EN VERANO Y AL MEDIO DIA ZONA DE SEGURIDAD
65.1 m	5.0 kW/m <sup>2</sup>	CAUSA DAÑOS AL PERSONAL SI NO SE PROTEGE ADECUADAMENTE EN 20 SEG. SUFRIENDO QUEMADURAS DE 2º GRADO ZONA DE ALTO RIESGO
44.6 m	12.5 kW/m <sup>2</sup>	ENERGIA MINIMA PARA LA IGNICION PILOTEADA DE LA MADERA Y FUNDICION DE TUBERIA DE PLASTICO. CON 1% DE LETALIDAD EN 1 MIN.ZONA DE ALTO RIESGO



**TESIS CON  
FALLA DE CARGEN**



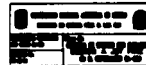
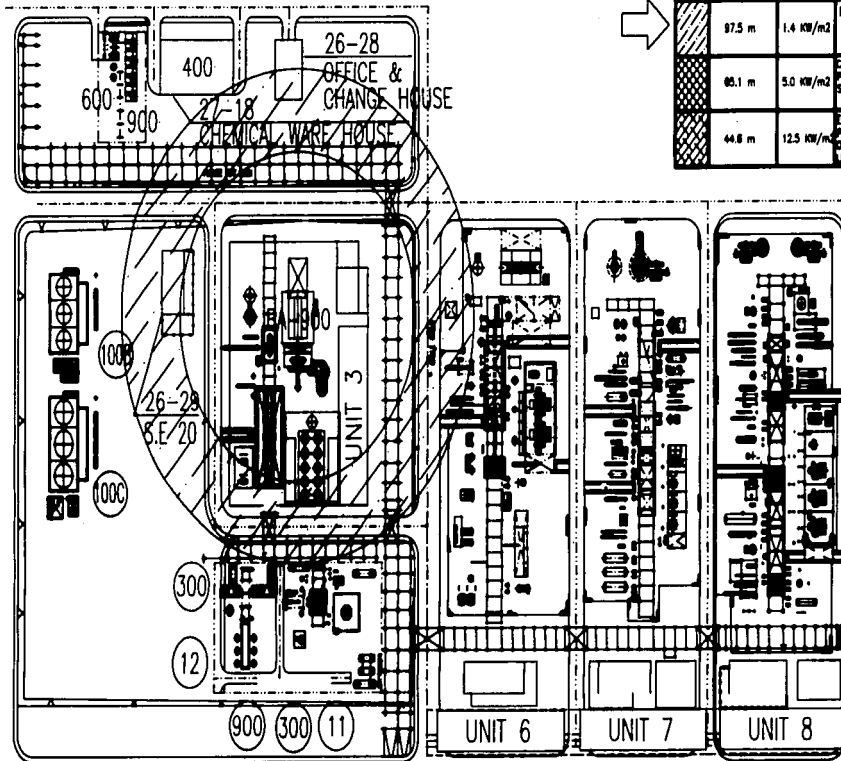
LEGEND

- CYCLONIC SEED
- PALLETS
- NEW PLANT, NEW INSTALLATION
- NEW EQUIPMENT
- NEW AREA REQUIRED
- CLUC. TRAY PROPOSED FOR THE OPTIC FEED TO COC NO.2
- NEW WALL
- WALL TO BE DEMOLISHED
- NEW PIPE RACK
- NEW SHELTER
- CHANGING PIPE RACK
- CHANGING SHELTER

NO	SYSTEM	PROCESS PLANTS
1	7	HYDROTREATING PLANT FOR COKE GAS OIL
2	4	WTE PLANT NO.2
3	8	HYDROGEN PLANT
4	5,5A	ALUMINATION PLANT WITH PRETREATMENT NO.2
5	8	SULFUR RECOVERY PLANT NO.6
6	3	NAPHTHA REFORMER PLANT NO.2 WITH COC
7	1	NAPHTHA HYDRODESULFUR. PLANT NO.2
8	2	HYDRODESULFUR. OF INTER. DISTILLED
9	8	PRODUCT PLANT NO.3
10	8	SCUM WATER STRIPPING PLANT NO.7 & 8
20	11	FLARE KNOCK OUT DRUM
20	12	PSA
20	13	GAS SWEETENING SYSTEM



	DISTANCIA DE AFECTACION	NIVEL DE RADIACION	DESCRIPCION DEL DAÑO
	97.5 m	1.4 KW/m <sup>2</sup>	FLUJO TERMICO EQUIVALENTE AL SOL EN VERANO Y AL MEDIO DIA ZONA DE SEGURIDAD
	65.1 m	5.0 KW/m <sup>2</sup>	CAUSA DAÑOS AL PERSONAL SI NO SE PROTEGE MECANICAMENTE EN 20 SEG. SUPLENDO CHEMICALS DE 2º GRADO ZONA DE ALTO RIESGO
	44.8 m	12.5 KW/m <sup>2</sup>	ENERGIA LIBRADA PARA LA IGNICION PILOTEADA DE LA MADERA Y FUNDICION DE TUBERIA DE PLASTICO CON 1% DE RETENIDO EN 1 MIN. ZONA DE ALTO RIESGO





# CAPÍTULO IV

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



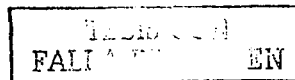
## CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 4.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS Y OPERABILIDAD "HAZOP".

La planta de Hidrógeno del Área Hidros II al igual que toda la refinería esta supervisada por el SIASPA (Sistema Integral de la Administración Seguridad y Protección Ambiental); además esta refinería esta certificada como "Industria Limpia" por la SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). Por lo tanto esta planta ya cuenta con los equipos y sistemas de seguridad para eliminar, evitar e incluso mitigar los efectos producidos por cualquier accidente. Sin embargo es indispensable mejorar continuamente su seguridad, razón por la cual se llevó a cabo el análisis de riesgos "HazOp" con el cual, se detectaron áreas de oportunidad en las cuales se pueden mejorar la seguridad de la planta.

Gracias a este análisis se obtuvieron una serie de recomendaciones (específicas para esta planta) que se deben llevar a cabo para mantener y mejorar la seguridad de la planta y son las siguientes:

Clase			
A	Bypaseo del EA-910.	Usar como combustible gas natural en vez de gas combustible de la red.	2





Clase	Defecto	Recomendación	Valor
A	El control FIC-913 (controlador de flujo de vapor al reformador BA-900 trabaja en automático, y si se presenta una variación brusca de flujo hacia arriba, ya sea falla del sensor, falla de voltaje o de la señal del transmisor, cerrará la válvula FV-913. Este incidente ya se ha presentado en la planta de hidrógeno.	Configurar el controlador FIC-913 de la siguiente manera: 1. Estando el control en AUTOMÁTICO si falla la señal del transmisor, el sensor o el voltaje de alimentación del mismo, la válvula FV-913 sólo se cerrará hasta llegar a un 20% de abertura, y se mantendrá en esta posición. El control FIC-913 pasará entonces de AUTOMÁTICO a MANUAL, y al cumplirse esta condición alarmara en el sistema de control distribuido sonora y visiblemente, para que el operador este enterado cambio ocurrido en el control. Se requiere que la válvula tenga esta abertura para mantener el flujo mínimo necesario hacia los tubos del reformador BA-900 y evitar daños en los mismos. 2. Disfunción de los cambios al personal de operación y capacitación de los mismos a través de pláticas informativas por los técnicos operativos del sector. 3.-Actualización de procedimiento de operación de la planta.	11
B	Ruptura de tubos de precalentador EA-905.	Revisar si el EA-905 cuenta con mampara de choque, si no cuenta instalarla para evitar choque directo del flujo de agua de caldera.	1
B	Obstrucción de los intercambiadores de calor EA-909, EA-910.	Contar con un gas combustible limpio (libre de azufre).	2
B	Uso de gas combustible del cabezal de la refinera (alto contenido de azufre, de acuerdo a diseño).	Cambiar el diseño de la instalación de gas combustible por gas natural en el cual se asegure que bajo ninguna circunstancia se mezclará gas combustible (con presencia de azufre) con gas natural.	5

PRUEBA CON  
FALTA DE EN



Clase	Evento	Actividad	Valor
C	Alta Presión del Gas de cola o gas combustible.	Realizar la inspección ultrasónica por el exterior de los tubos del reformador BA-900 en cada reparación de planta o cada 3 años, lo que suceda primero.	2
C	Falla en el relacionador cuando baja la relación vapor/carbón.	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2
C	Baja Presión en el gas de cola o gas combustible.	Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2
C	Falla del FQIC-920 (FV-920, controlador de flujo de entrada de gas combustible del reformador).	Incluir en la toma de lectura diaria al LG-922, y si se presenta alta, purgarla.	2
C	Falla en el PIC-920 (FV-920).	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2
C	Falla en el FIC-914 (FV-914).	Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2
C	Incondensables en el Gas Combustible.	Instalar sistema de filtrado y separación de incondensable en la red de gas combustible.	2
C	Falla en el FIC-913 (FV-913, controlador de flujo de vapor)	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2
C	Falla en el FIC-910 (FV-910, controlador de flujo de gas natural)	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2
C	Falla del compresor de hidrógeno GB-900 A/B.	Mantener la plantilla de mantenimiento completa y disponible.	3
C	Falla en el TIC-922 (TV-922, controlador de temperatura de entrada al DC-901).	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	4

TESIS CON  
FALLA DE MANTEN



Clase	Problema	Acción	Indicador
C	Alta Presión del Gas de cola o gas combustible.	La operación del soplador GC-901 debe ser monitoreada por el personal de mantenimiento.	5
C	Daños en las mallas de adsorción de los tanques adsorbedores.	Si el hidrógeno producto está fuera de especificación, revisar el estado de las mallas durante el próximo paro institucional programado.	8
D	Falla del TIC-901 (TV-901, controlador de temperatura de entrada del gas natural de entrada al reformador).	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	2
D	2.Falla del TIC-901 (TV-901, controlador de temperatura de entrada del gas natural al reformador).	Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	2
D	Falla en el relacionador vapor/carbón (aumento de la relación vapor/carbón).	Dar capacitación constante al personal de instrumentación y operación en los lógicos de protección de la planta.	2
D	Alta concentración de azufre en la corriente de alimentación de gas natural a la planta.	Tener disponibles los analizadores para mantener el monitoreo en línea.	3
D	Falla del FIC-930 (FV-930, controlador de controlador de flujo de hidrógeno hacia el reactor DC-900).	Contar con el refaccionamiento a tiempo en calidad y cantidad.	3
D	Adsorbente (ZnO) saturado.	Tener disponibles los analizadores para mantener el monitoreo en línea.	3
D	Alta concentración de azufre en la línea de carga.	Tener disponibles los analizadores para mantener el monitoreo en línea.	3
D	Falla en el TIC-922 (TV-922, controlador de temperatura de entrada al reactor DC-901).	Tener disponibilidad de refacciones para las reparaciones de emergencia.	4





Clase	Riesgo	Actividad	Nivel
D	Falla del FQIC-920 (FV-920, controlador de flujo de entrada de gas combustible al reformador).	Contar con el personal capacitado y en cantidad suficiente para cumplir con los programas de mantenimiento.	5

Como ya se ha mencionado anteriormente las recomendaciones fueron jerarquizadas de acuerdo a su nivel de riesgo, es decir del Tipo A, B, C, D, las cuales se refieren al nivel de importancia en la implementación de mejoras.

De lo anterior podemos mencionar que de tipo:

- A se obtuvieron 2 recomendaciones.
- B se obtuvieron 3 recomendaciones.
- C se obtuvieron 13 recomendaciones.
- D se obtuvieron 9 recomendaciones.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

De manera complementaria el análisis "HazOp" promueve que el personal de operación y administrativo de la planta de Hidrógeno actúen con plena conciencia de los riesgos implícitos en la operación, con el fin de fomentar una cultura de seguridad en los procesos y laboral.

Guía para la realización de un buen análisis HazOp.

- La reunión deberá ser preparada recolectando la siguiente información:  
Un juego completo de DTI's, lista de las presiones de diseño de los recipientes, material de construcción de los recipientes y propiedades de corrosión, lista de propiedades de cada sustancia involucrada en el proceso.
- Los recipientes y tuberías deben ser numerados, y se recomienda resaltarlos en los diagramas de acuerdo al progreso de los análisis.



- Las desviaciones, causas y consecuencias deben ser registradas adecuadamente en las hojas de registro del análisis HazOp, para facilitar su posterior interpretación.
- Las discusiones no deben tomar mucho tiempo en cada punto. Cinco minutos es tiempo suficiente para discutir una desviación, en caso de que surja un problema que no pueda ser resuelto rápidamente, será mejor anotarlo en una hoja de acciones y designar a una persona para resolver específicamente ese punto.
- Las reuniones son muy extenuantes, por lo que preferentemente no deben durar más de cuatro horas.

#### **4.2 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS.**

El evento culminante considerado es el incendio en el Reformador con Vapor BA-900, la realización del árbol de fallas arrojó una probabilidad de  $3.5 \times 10^{-5}$  de que ocurra este evento culminante en un año. Como se ve esta probabilidad es muy baja.

Es necesario destacar que el árbol de fallas aparte de ser un método cuantitativo, tiene vital importancia como método cualitativo ya que este arroja las causas por las que puede ocurrir el evento culminante y sirve como una guía para prevenir que ocurra el evento culminante dando la atención pertinente a estas fallas.

Las recomendaciones para prevenir que ocurra el evento culminante son las siguientes:

1. Reemplazar el EA-910 por otro equipo de igual o características similares, a la brevedad posible, ya que de no hacerlo, se podría ver comprometida



la integridad física de otros equipos y accesorios directa e indirectamente involucrados con el, además de no poder trabajar a carga máxima la planta de hidrógeno, vital para otras unidades, como la planta hidrodesintegradora de gasóleos.

2. Para evitar futuros daños en el equipo a instalar se recomienda suministrar gas combustible libre de azufre para el funcionamiento del EA-910, o en su caso y si bajo un estudio previo se encuentra que es viable, utilizar gas natural de gasoducto para usarse como gas combustible en este equipo.
3. Instalar la línea de gas natural, citada en el punto anterior, con orificio de restricción para la disminución de la presión de descarga, válvula reguladora de presión para controlar la presión de entrada, válvula de seguridad (PSV) en línea para proteger de los cambios bruscos de presión y tanque separador de líquidos.
4. Utilizar la máxima cantidad posible, de acuerdo a las condiciones de operación, del gas de cola generado en la unidad PSA.

#### Guía para la realización de un buen análisis de Árbol de Fallas.

- Escribir las oraciones dentro de las cajas y círculos de eventos como imperfectos, haciendo estas afirmaciones tan claras y precisas como sea posible.
- Si el funcionamiento normal del equipo propaga una secuencia de fallas, asuma que el equipo funciona normalmente.
- Todas las entradas a una puerta en particular deberán estar completamente definidas antes de que se comience a analizar otra puerta. Para modelos sencillos, el árbol debe ser completado por



niveles y cada nivel deberá ser completado antes de empezar con el siguiente.

- Las entradas a las puertas deberán ser propiamente definidas, esto es, las puertas nunca deben estar directamente conectadas con otras puertas. Atajar el desarrollo del árbol de fallas puede causar confusiones pues las salidas de las puertas no han sido especificadas.

#### **4.3 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES DEL ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS.**

Para el análisis de consecuencias se consideró el escenario de fuga en el reformador con vapor BA-900, obteniéndose como resultado el evento llamado Jet-Fire.

En un radio de 44.63 m se obtiene el mayor nivel de radiación que es de 12.5 kW/m<sup>2</sup> y es la zona llamada de alto riesgo, entre 44.64 m y 65.12 m se obtiene un nivel medio de radiación que es de 5 kW/m<sup>2</sup> y es la zona llamada de amortiguamiento, y entre 65.13 m y 97.58 se obtiene un nivel mínimo de radiación que es de 1.4 kW/m<sup>2</sup> y es la zona llamada de seguridad.

Las recomendaciones para este escenario que es el Jet-Fire en el Reformador con Vapor BA-900, también aplican para el análisis de árbol de fallas y son las siguientes:

- Revisar, de acuerdo al programa establecido para tal fin, las condiciones de los serpentines, incluyendo la medición de espesores.
- Si algún tubo esta dañado o ya está en el límite de retiro, reemplazarlo a la brevedad posible.
- Instalar cortinas de vapor en todos los calentadores a fuego directo que carezcan de ella.



- Contar con el refaccionamiento original de equipos e instrumentos a tiempo, para cumplir con los programas de mantenimiento.
- Instalar filtros coalescedores y tanque separador de líquidos en el cabezal de suministro de gas combustible.
- No sobre-esforzar los calentadores por arriba de las condiciones de diseño.
- En la sustitución de algún tubo realizar análisis de material, durezas y radiografiados del material que se colocará.

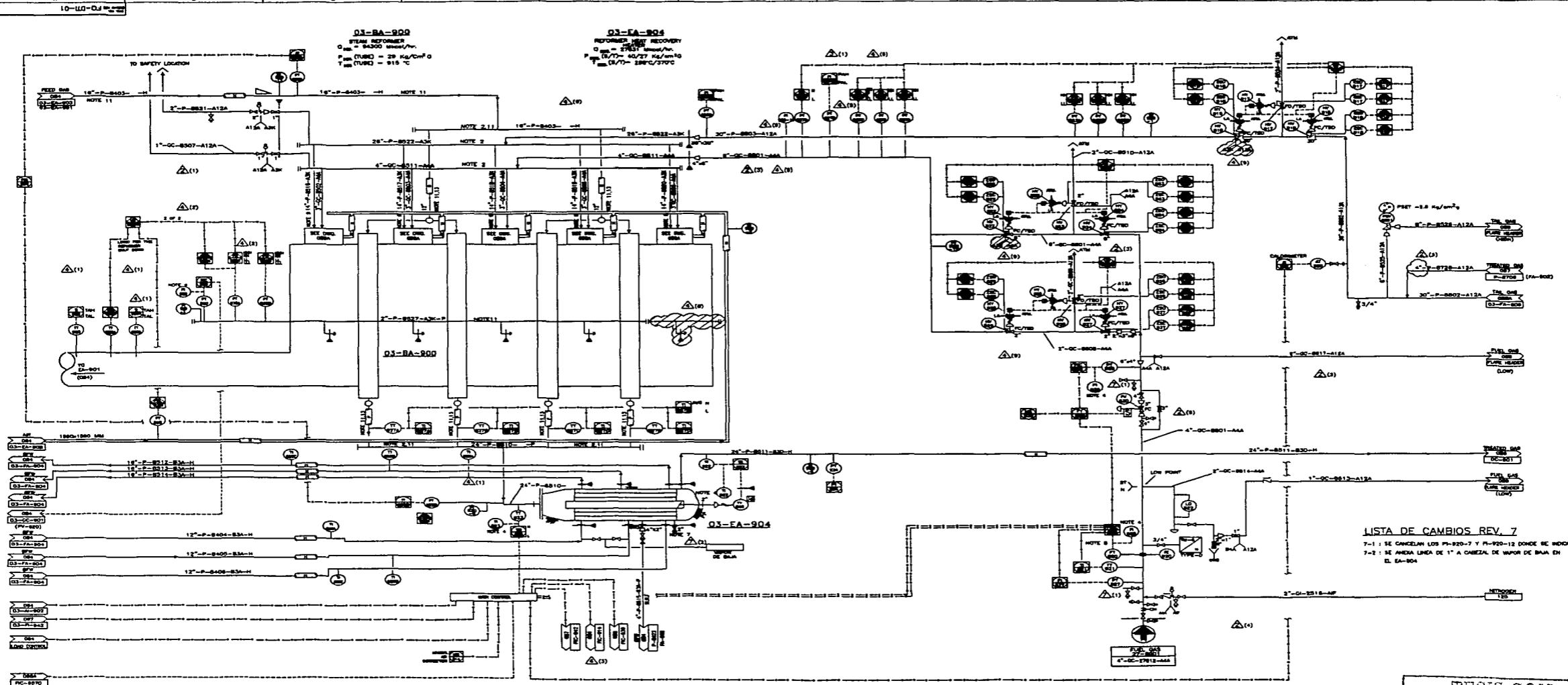


**APÉNDICE A**  
**DIAGRAMAS DE LA PLANTA DE H<sub>2</sub>**



**D3-BA-900**  
 STEAM REFORMER  
 1. IN = 84000 MM<sup>3</sup>/Hr  
 2. IN PRESS = 28 Kg/Cm<sup>2</sup> G  
 3. IN TEMP = 915 °C

**D3-FA-904**  
 REFORMER WASTE RECOVERY  
 1. IN = 27637 MM<sup>3</sup>/Hr  
 2. IN PRESS = 10.72 Kg/Cm<sup>2</sup> G  
 3. IN TEMP = 299°C/570°F



**LISTA DE CAMBIOS REV. 7**  
 7-1 : SE CANCELAN LOS P-920-7 Y P-920-12 DONDE SE INDICA  
 7-2 : SE AMPLIA LINEA DE 1" A CABEZA DE VAPOR DE BAMA EN EL EA-904

**NOTE**

- FOR GENERAL NOTES REFERENCE DRAWINGS PIPING CODES AND INSTRUMENTATION SYMBOLS, SEE DRAWING NO. 000994-03-12-1-001.
- BA-900 DISTRIBUTION HEAD.
- SHALL BE LOCATED CLOSE TO THE VALVE.
- DELETED.
- DELETED.
- TO SWITCH THE DISTRIBUTION OF THIS BURNER SEE DETAIL "A".
- THE DETAIL OF THIS DRAWING SHALL BE OWNED BY THE EA-904 VENDOR.
- NORMALLY NO FLOW.
- THE DIMENSIONS SHALL BE VERIFIED AFTER THE BURNER DESIGN.

**10. DELETED**

- THE SPECIFICATIONS OF LINE 17-BA-900-P-8801-P-8810 AND P-8811 SHALL BE SPECIFIED BY STEAM REFORMER'S VENDOR.
- 12 BURNERS PER ROW.
- HEADER EACH ROW HAS 36 TUBES.
- DELETED.
- VENT AND DRAIN VALVES ARE 3/4" UNLESS NOTED.

**CHANGE LIST**

- CHANGED LINE SIZE, VALVE SIZE AND CONNECTION POINT AS LICENSOR'S COMMENT.
- CHANGED LINE SIZE AND CONNECTION AS LICENSOR'S COMMENT.
- CHANGED LINE SIZE AND CONNECTION AS LICENSOR'S COMMENT.
- CHANGED THE P-920 VALVE SIZE OF CONTROL VALVE AS LICENSOR'S COMMENT.
- ADDED THE PRESSURE SWITCH AS LICENSOR'S COMMENT.

- DELETED SOFT-LINE CONNECTION FROM TBN-920A AND TBN-920B TO UA-920 AND CHANGED P&ID POINTS, TBN-920A TO DCS POINTS, TUBESHA WITH HIGH AND LOW ALARM AS LICENSOR'S COMMENT.
- ADDED 2 OF 2 NOTICE SYSTEM AND RELATED INSTRUMENTATION AND RELATED P&ID-920A AND P&ID-920B AS LICENSOR'S COMMENT.
- REVERSE SOFT-LINE CONNECTION FROM MAIN CONTROLLER TO PC-914 AND PC-916 AS LICENSOR'S COMMENT.
- ADDED PC-914 AND SOFT-LINE CONNECTION FROM PC-917 AND PC-918 TO MAIN CONTROLLER AS LICENSOR'S COMMENT.
- DELETED P&ID-920 AND ADDED HIGH AND LOW BURNERS PRESSURE P&ID OF P&ID-920A AS LICENSOR'S COMMENT.

- CHANGED PIPE LINE SIZE 30" P-8812, 15" P-8813/W/17 BA-900/W/20 AND P-8814 TO 12" P-8812, 15" P-8813 AND 30" P-8814 AS LICENSOR'S COMMENT, AND THE SIZE FOR THE SEARCH LINES ARE 12" RESPECTIVELY AS LICENSOR'S COMMENT.
- CHANGED DESCRIPTION AS LICENSOR'S COMMENT.
- DELETED ONE NOZZLE TO INSURE STEAM PRESSURE ON STEAM REFORMER AS STEAM REFORMER'S VENDOR COMMENT.
- DELETED SPEC SHEET FOR V&I GAS AND FUEL GAS LINES AS LICENSOR'S COMMENT.

**TESIS CON FALLA DE ORIGEN**

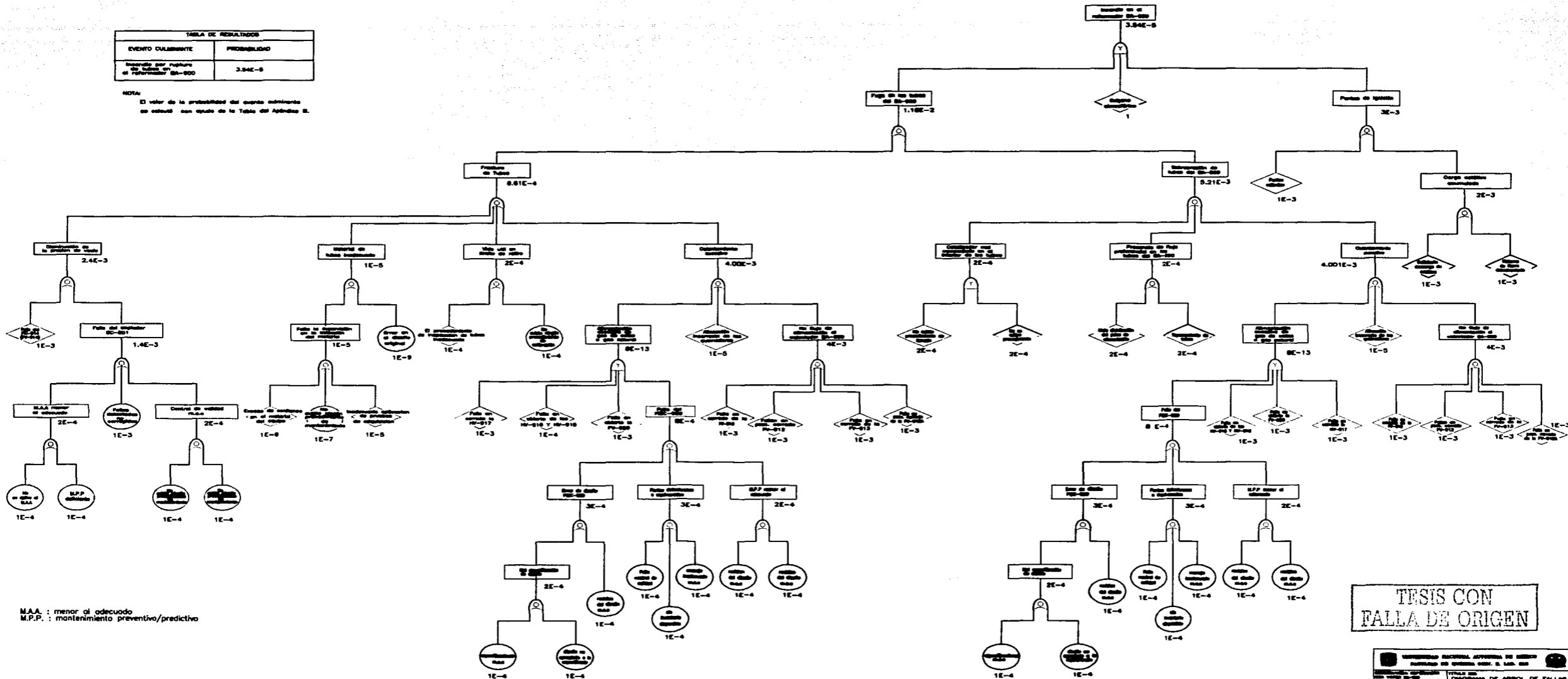
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
 FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA, S. LAB. 910  
 TÍTULO DE:  
 DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN DEL REFORMADOR CON VAPOR BA-900

PROFESOR DEL NOMBRE:  
 DATE (DD / MM / AA):



TABLA DE RESULTADOS	
EVENTO CULMINANTE	PROBABILIDAD
Incendio por ruptura de tubería 10-100	3.94E-6

NOTA:  
El valor de la probabilidad del evento culminante es actual, con ayuda de la Tabla del Apéndice B.

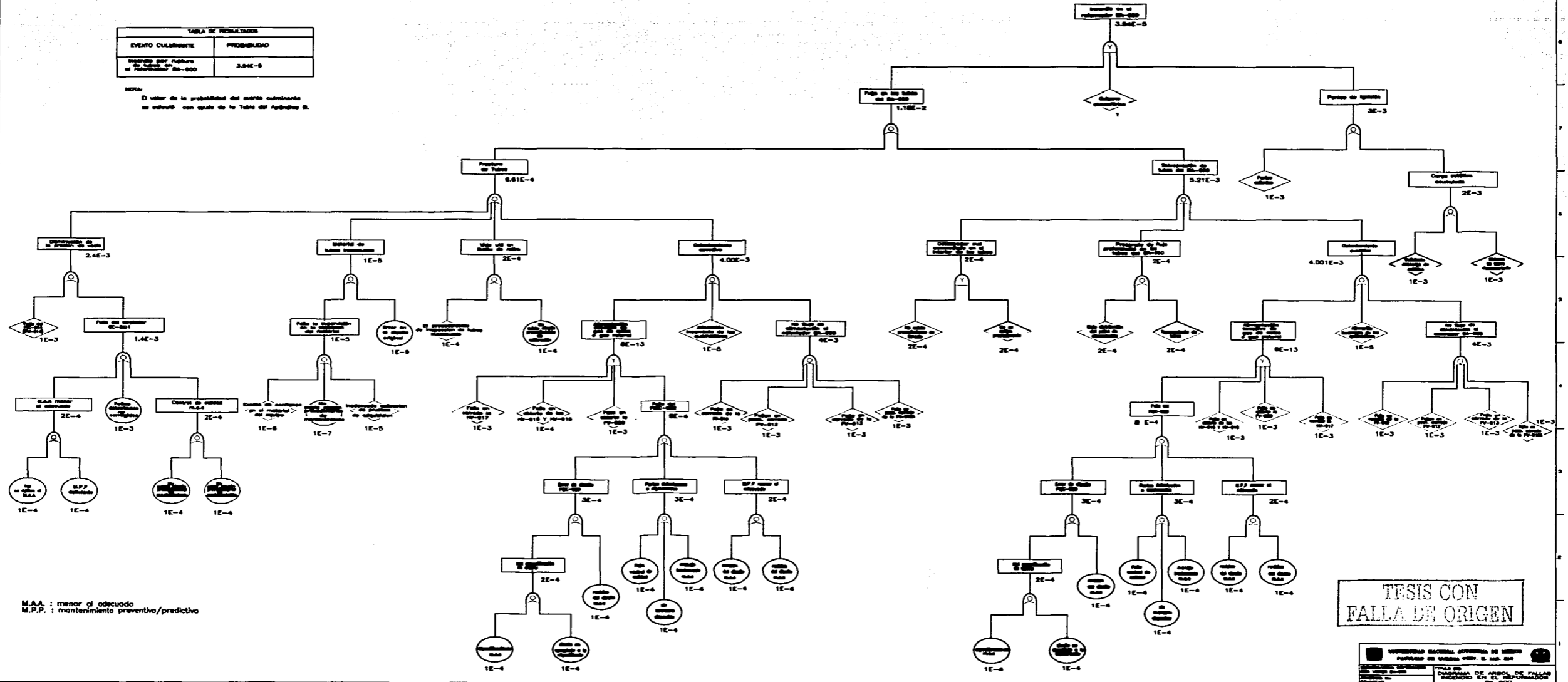


M.A.A. : menor al adecuado  
M.P.P. : mantenimiento preventivo/predictivo

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TABLA DE RESULTADOS	
EVENTO CALAMITANTE	PROBABILIDAD
Rotura del tubo, ruptura de la tubería de 20-200	3.84E-9

NOTA:  
El valor de la probabilidad del evento calamitoso en este caso, con ayuda de la Tabla del Apéndice B.



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

TESIS CON FALLA DE ORIGEN





**APÉNDICE B**  
**PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE ACCIDENTES UTILIZADAS EN**  
**EL ÁRBOL DE FALLAS.**

<b>COMPONENTE</b>	<b>PROBABILIDAD</b>
Falla de gas por falla de línea	0.1
Error humano (ignición por soldadura o corte)	1E-2
Falla detector de gas o fuego	8.76E-2
Válvula mecánicamente defectuosa	1E-4
PSV mal calibrada	1E-2
Falla aplicación de soldadura (soldadores no certificados)	1E-2
Falla de inspección (omisión)	1E-2
Falla al tomar la acción correcta después de la	1E-3
Falla control de calidad (materiales corrosivos)	1E-3
Falla mantenimiento (calibración o recubrimiento)	1E-2
Falla de decisión (se opera en el límite de retiro)	1E-3
Falla operacional (equivocacional)	1E-3
Falla secundaria debida a efectos ajenos	1E-9
Falla procedimiento operacional (omisión)	1E-2
Falla indicador de nivel	8.76E-2
Falla válvula de cierre rápido	8.76E
Falla alarma por alto nivel	8.76E
Falla alarma por alta presión	8.76E
Falla indicador de temperatura a la salida de los	8.76E
Falla de diseño o deterioro durante su servicio	1E-2
Falla de decisión (la línea opera en su límite de retiro)	1E-3
Procedimiento no actualizado o difundido	5E-3
No se sigue el procedimiento operacional	1E-2
Falla de bomba	1E-1
Falla de interruptor	1E-1
Corto circuito	1E-1
Falta de corriente	1E-1 / 1E-2
Falla motor	1E-3
Error de operación	1E-1
Falla mecánica	1E-4
Error de inspección	1E-1
Falla bomba centrífuga	1.04E-4
Falla bomba centrífuga (catastrófico)	1.04E-6
Falla bomba (impulsada a motor)	2.4E-6

**Referencia Bibliográfica # 5**



# GLOSARIO



---

**GLOSARIO**

---

**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, y pueden ser accidentes menores ó accidentes mayores.

**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 ó explosión que sea consecuencia de un desarrollo incontrolado de una actividad industrial y que pueda provocar una situación de gran riesgo, catástrofe ó calamidad pública, inmediata ó diferida, para las personas, para el medio ambiente y para los bienes propiedad de los accionistas, ya sea en el interior ó en el exterior de las instalaciones, y en el que estén implicadas una ó varias sustancias peligrosas (real decreto 886/1988, de la legislación Española, sobre prevención de accidentes mayores).

**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 ó administración de riesgos), ya sea mediante la jerarquización de las estrategias de reducción de riesgos ó 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 (perjuicios personales ó daños a equipos catastróficos) y



determinar las medidas para controlar estos riesgos y eliminar ó al menos mitigar sus consecuencias.

**Análisis de Riesgos y Operabilidad (HazOp):** Es una herramienta sistemática usada por un equipo multidisciplinario para llevar a cabo un estudio de riesgos y operabilidad, la cual usa una serie de palabras guía, que se aplican a cada parámetro del proceso seleccionado, para identificar, mediante la discusión propositiva y la generación de ideas: Desviaciones de la intención de diseño de un sistema y sus procedimientos, las causas y consecuencias que las provocan y los sistemas de protección ó mitigación de dichas causas y consecuencias; y que además, semicuantifica los riesgos, mediante la combinación de las frecuencias ó probabilidades y la gravedad, hace recomendaciones, las cuales clasifica y jerarquiza de acuerdo al nivel del riesgo encontrado, establece y jerarquiza las acciones para implementar las medidas correctivas determinadas por el equipo multidisciplinario". HazOp (Hazard and Operability Analysis) quiere decir Análisis de Riesgos y Operabilidad. La palabra Riesgo viene de la palabra en ingles Risk y la palabra Peligro viene de la palabra en ingles 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.

**Causa:** Es la razón por la que se pueden producir desviaciones, es decir es lo que hace que un incidente o accidente ocurra.

**Clase:** Es la prioridad asignada a las acciones recomendadas en base al nivel de riesgos encontrado basado en la matriz de riesgos.

**Combustión:** Es una reacción química en la que se libera energía a partir de la oxidación de un material.

**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).



**Desviación:** Son desvios de la intención de diseño (flujo, presión, temperatura, reacción, nivel, etc.) que se descubren mediante la aplicación sistemática de las palabras guía.

**Escenario potencial:** Es el riesgo potencial que tiene 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 que se han observado en un lapso de tiempo dentro de la planta.

**Gravedad:** Son las consecuencias dañosas que puede tener un accidente dentro de la planta. Su nivel se asigna con ayuda del equipo multidisciplinario.

**Incendio:** Es la combustión de grandes cantidades de un material, ocasionando grandes pérdidas, ya sean humanas, materiales o ambas.

**Incidente:** Es el evento o combinación de eventos no planeados que se deben a errores humanos, fallas en los equipos y/o fenómenos naturales; que bajo circunstancias un poco diferentes, puede tener o no consecuencias para el personal, la población, el medio ambiente, la producción y/o las instalaciones (equipo y maquinaria).

**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).

**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.

**Medida correctiva:** Es la que reduce la probabilidad del riesgo identificado o mitiga sus efectos cuando dicho riesgo se transforma en accidente.





**Mitigación:** Conjunto de acciones para disminuir las consecuencias de la ocurrencia 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, 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.

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

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

**Peligro:** Significa cualquier condición física ó química capaz de causar daños a las personas, al medio ambiente o a la propiedad.

**Pérdida:** Significa un derroche innecesario de recursos.

**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.

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

**Riesgo:** Significa la posibilidad de sufrir pérdidas ó bien se puede considerar como una medida de pérdida económica ó 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.



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.



# BIBLIOGRAFÍA



---

**BIBLIOGRAFÍA**

---

1. American Institute of Chemical Engineers. 1992. **Guidelines for Investigating Chemical Process Safety**. Pp. 87-95. New York USA.
2. American Institute of Chemical Engineers. 1992. **Guidelines for Hazard Evaluation Procedures**. Pp. 93-195. New York USA.
3. American Institute of Chemical Engineers. 2000. **Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis**. Pp. 59-282. New York USA.
4. Camacho Alanis Fernanda. 2001. **Análisis de Riesgos en la Sección de Carga y Reacción para una Planta de Craqueo Catalítico Fluidizado**. Pp 8-22. Tesis Experimental para obtener el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. México.
5. Continuing Engineering Studies, Collage of Engineering, University of Texas at Austin, **Hazard Assessment and Risk Analysis Techniques for Process Industries**. A Short Course Presented at IMP, México (Junio, 1994).
6. Malvaez Camacho Alfredo. A. 2001. **Análisis de Riesgos HazOp, Análisis de Fallas y Análisis de Consecuencias del Circuito de Carga de una Planta Hidrodesulfuradora de Naftas**. Pp. 6-13. Tesis Experimental para obtener el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. México.



7. M. Javier Cruz Gómez y Sonia Monroy. 2001. **Curso de Técnicas de Investigación de Incidentes de los Procesos Químicos**. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. México.
8. Montero Martínez R. 1994. **Experiencia en la Aplicación del Método HazOp**. Pp. 15, 69-75. Cuba.
9. Sánchez de León Maria. E. 2002. **Análisis de Riesgos en la Unidad Recuperadora de Vapores de una Planta Catalítica Desintegrada de Gasóleos en Fase Fluida**. Pp 11-18. Tesis Experimental para obtener el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. México.
10. Solache León Fernando. 2001. **Análisis de Riesgos de Proceso de una Planta Reformadora de Naftas**. Pp 36-51, 152, 155. Tesis Experimental para obtener el Título de Ingeniero Químico. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química. México.
11. Santamaría, R. 1998. **Risk Analysis and Reduction in the Chemical Process Industry**. Blackie Academic and Professional London. UK.