



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA**

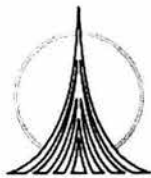
**“ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE RIESGOS EN UNA
UNIDAD DE HIDRODESINTEGRACIÓN DE
RESIDUO DE PETRÓLEO, TIPO H-OIL”**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO**

P R E S E N T A :

ABRAHAM FERIA ORTEGA



UNIDAD EN LA DIVERSIDAD.
ZARAGOZA FRENTE AL SIGLO XXI

MEXICO D.F.

2004



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



**FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES ZARAGOZA**

**JEFATURA DE LA CARRERA
DE INGENIERIA QUIMICA**

OFICIO: FESZ/JCIQ/092/03

ASUNTO: Asignación de Jurado

ALUMNO: FERIA ORTEGA ABRAHAM

P r e s e n t e.

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

| | |
|--------------------|---|
| Presidente: | I.Q. René de la Mora Medina |
| Vocal: | Dr. Modesto Javier Cruz Gómez |
| Secretario: | I.Q. Salvador J. Gallegos Rames |
| Suplente: | I.Q. Angel Gómez González |
| Suplente: | I.Q. José Benjamín Rangel Granados |

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., 27 de Octubre de 2003

EL JEFE DE LA CARRERA



M. en C. ANDRÉS AQUINO CANCHOLA

**INGENIERIA QUIMICA
SECRETARIA TECNICA**

♣

AGRADECIMIENTOS

A mi papá: por ser la única persona que desde un principio creyó en mi, por ser ese apoyo inquebrantable en todo momento, por enseñarme con tu inmensa sabiduría, porque aunque todo fuera difícil y ya el tiempo fuera insuficiente ahí estabas esperando, cuidando, tratando, ayudando, peleando, entendiendo y haciendo no todo o nada sino lo que yo necesitaba. Por eso por todo desde el principio y hasta donde la vida nos alcance gracias Miguel, gracias papá.

A mi hermano: Gerardo por las primeras enseñanzas en computación, las suficientes y necesarias.

A mis amigos: Fernando, Juan, Víctor, Silvia, Rita y Alejandra por los momentos buenos, malos, tristes, alegres, por estar aquí y escuchar.

RESUMEN

Este trabajo se compone de una introducción, generalidades, desarrollo, recomendaciones y conclusiones.

En la introducción se menciona la utilidad y necesidad del análisis de riesgos, algunos métodos de análisis de riesgos y su utilidad. Se da una breve descripción de la planta de estudio, la unidad de hidrodessintegración catalítica (H-OIL), la utilidad de los productos obtenidos en esta unidad, secciones de ésta, química básica y compuestos manejados. A continuación se da la justificación y objetivos del trabajo escrito.

En el capítulo 1 se dan algunas definiciones, se habla de los análisis de riesgos, enfoques de éstos, tipos de análisis, métodos de análisis de riesgos. La descripción, metodología, criterios, tablas, recursos y aplicación de las técnicas de Análisis de Peligros y Operabilidad HAZOP y Análisis de Árbol de Fallas (AAF). Al final del capítulo se describe el análisis de consecuencias, modelos de simulación y fenómenos peligrosos asociados a accidentes.

En el capítulo 2 se describe el proceso de la unidad H-OIL y se muestra el diagrama de flujo de la planta. El fundamento y sistemas escogidos para el análisis HAZOP. El fundamento del árbol de fallas, descripción del escenario, causas para que se de el escenario, memoria de cálculo, resultados y se muestra los diagramas de árbol de fallas. Por ultimo se describe el escenario del análisis de consecuencias, criterios, parámetros, resultados y se muestra el diagrama de análisis de consecuencias.

La parte final de la tesis son las recomendaciones y conclusiones obtenidas del estudio realizado.

En el apéndice A se encuentran las hojas de registro HAZOP, y en el apéndice B los DTI's de interés en el HAZOP.

| ÍNDICE | PÁGINA |
|---------------------------------------|--------|
| INTRODUCCIÓN | |
| JUSTIFICACIÓN | |
| OBJETIVOS | |
| CAPÍTULO I 1. GENERALIDADES | |
| 1.1. DEFINICIONES | 1 |
| 1.2. ANÁLISIS DE RIESGOS | 4 |
| 1.3. ENFOQUES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS | 5 |
| 1.4. TIPOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS | 6 |
| 1.4.1. ANÁLISIS CUALITATIVO | 6 |
| 1.4.2. ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO | 7 |
| 1.4.3. ANÁLISIS CUANTITATIVO | 9 |
| 1.4.3.1. Identificación de peligros | 9 |
| 1.4.3.2. Estimación de la frecuencia | 9 |
| 1.4.3.3. Cálculo de consecuencias | 9 |
| 1.4.3.4. Toma de decisiones | 9 |
| 1.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS | 10 |

| | | |
|----------|---|----|
| 1.5.1. | ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP-HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS) | 16 |
| 1.5.1.1. | Descripción | 16 |
| 1.5.1.2. | Terminología HAZOP | 16 |
| 1.5.1.3. | Plan de trabajo HAZOP y documentación necesaria | 17 |
| 1.5.1.4. | Método | 18 |
| 1.5.1.5. | Matriz de riesgo | 23 |
| 1.5.1.6. | Resultados y aplicabilidad | 26 |
| 1.5.2. | ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (AAF) | 27 |
| 1.5.2.1. | Definición | 27 |
| 1.5.2.2. | Identificación del evento culminante | 27 |
| 1.5.2.3. | Simbología para hacer el árbol de fallas | 28 |
| 1.5.2.4. | Procedimiento para hacer el árbol de fallas | 29 |
| 1.5.2.5. | Enfoque cuantitativo del árbol de fallas: frecuencia y probabilidad | 30 |
| 1.5.2.6. | Documentación necesaria | 31 |
| 1.5.2.7. | Ámbito de aplicación | 31 |
| 1.5.3. | ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS | 32 |
| 1.5.3.1. | Definición | 32 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.2.1. | FUNDAMENTO | 42 |
| 2.2.2. | EQUIPO DEL CIRCUITO DE PRESIÓN INTERMEDIA | 42 |
| 2.2.3. | NODOS | 43 |
| 2.3. | ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS | 44 |
| 2.3.1. | FUNDAMENTO | 44 |
| 2.3.2. | DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO | 44 |
| 2.3.3. | DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS | 44 |
| 2.3.4. | LISTA DE FALLAS QUE PUEDEN PROVOCAR LA FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS | 45 |
| 2.3.5. | CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD Y FRECUENCIA DEL EVENTO CULMINANTE | 45 |

DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS

AF-01 FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS DE AGUA AMARGA
GA-3154/3204/3104

AF-02 FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS DE AGUA AMARGA
GA-3154/3204/3104

| | | |
|--------|---------------------------|----|
| 2.4. | ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS | 47 |
| 2.4.1. | FUNDAMENTO | 47 |
| 2.4.2. | DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO | 47 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.4.3. | CONSIDERACIONES PARA LA ENTRADA DE DATOS AL PHAST | 48 |
| 2.4.4. | ENTRADA DE DATOS PARA EL MODELO | 49 |
| 2.4.5. | RESULTADOS OBTENIDOS POR PHAST | 50 |

DIAGRAMA DE ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

| | |
|-------|--|
| AC-01 | FUGA EN EL TANQUE DE SEPARACIÓN DE AGUA AMARGA FA-3152 |
|-------|--|

RECOMENDACIONES

ANÁLISIS HAZOP

ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICE A

HOJAS DE REGISTRO HAZOP

APÉNDICE B

DIAGRAMAS DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN

| | |
|--------------|---|
| U-3100-04128 | TANQUE FLASH DEL EFLUENTE DEL REACTOR |
| U-3100-04129 | INTERCAMBIADORES DE HIDROGENO/VAPOR DE PRESION ALTA |
| U-3100-04132 | SEPARADOR CALIENTE DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04133 | INTERCAMBIADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA/ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA Y CONDENSADOR DE VAPOR DE PRESION NTERMEDIA |
| U-3100-04134 | SEPARADOR FRIO DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04139 | TANQUE FLASH DE PRESION INTERMEDIA CON DEA ENRIQUECIDA |
| U-3100-04141 | SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION |
| U-3100-04143 | SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION |
| U-3100-04144 | SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION |

U-3100-04145 FILTROS DE ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA

U-3100-04148 TANQUE DE SEPARACION DE AGUA AMARGA

U-3100-04158 TORRE ABSORBEDORA DE DEA DE PRESION
INTERMEDIA

| ÍNDICE DE TABLAS | PÁGINA |
|--|--------|
| Tabla 1.1. Resumen de los enfoques de los análisis de riesgos. | 5 |
| Tabla 1.2. Clasificación cualitativa de riesgos. | 7 |
| Tabla 1.3. Clasificación semicuantitativa de riesgos. | 8 |
| Tabla 1.4. Métodos para identificación de peligros. | 11 |
| Tabla 1.5. Métodos para evaluación de la probabilidad. | 14 |
| Tabla 1.6. Palabras guía. | 19 |
| Tabla 1.7. Matriz de desviaciones. | 20 |
| Tabla 1.8. Frecuencias. | 21 |
| Tabla 1.9. Gravedades. | 22 |
| Tabla 1.10. Clase de riesgo. | 24 |
| Tabla 1.11. Criterio de probabilidad en función de la frecuencia. | 30 |
| Tabla 1.12. Fenómenos peligrosos. | 33 |
| Tabla 2.1. Equipo del circuito de presión intermedia. | 42 |
| Tabla 2.2. Nodos para el estudio HAZOP. | 43 |
| Tabla 2.3. Asignación de letras. | 45 |
| Tabla 2.4. Descripción del escenario de análisis de consecuencias. | 47 |
| Tabla 2.5. Criterios de toxicidad. | 48 |
| Tabla 2.6. Balance de masa de la corriente de estudio. | 49 |
| Tabla 2.7. Valores de criterios toxicológicos para el ácido sulfhídrico. | 50 |
| Tabla 2.8. Radios de afectación. | 50 |

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Utilidad del análisis de riesgos. | 4 |
| Figura 1.2. Matriz de riesgo. | 23 |
| Figura 1.3. Matriz de clase de riesgo. | 23 |
| Figura 1.4. Diagrama lógico de ejecución del análisis HAZOP. | 25 |
| Figura 1.5. Esquema de las consecuencias de los accidentes. | 35 |

ABREVIATURAS Y SIGLAS

AAE. Análisis de Árbol de Eventos.

AAF. Análisis de Árbol de Fallas.

AMFE. Análisis de Modos de Fallas y Efectos.

BPSD. Barriles Estándar por Día.

DEA. Dietanolamina-(OH-CH₂-CH₂)₂-NH).

DFP. Diagrama de flujo de proceso.

DTI. Diagrama de Tubería e Instrumentación.

HAZOP. Hazard and Operability Analysis. Análisis de Peligros y Operabilidad.

H-OIL. Hidrodesintegración Catalítica.

IDLH. Immediately Dangerous to Life and Health (niveles inmediatamente peligrosos para la vida o la salud).

INE. Instituto Nacional de Ecología.

LP. Gas licuado

PHAST. Process Hazard Analysis Software Tool.

PPM. Partes por Millón.

TLV. Treshold Limit Value (valores límite umbral).

INTRODUCCIÓN



INTRODUCCIÓN

En las instalaciones industriales en donde se procesan o almacenan sustancias tóxicas, inflamables, explosivas, existe el riesgo de que ocurra una situación adversa que podría tener consecuencias graves, tanto en las personas, propiedad y medio ambiente.

Estas situaciones adversas o accidentes, pueden evitarse con medidas de seguridad que permitan al proceso de la instalación industrial mantenerse en condiciones normales de operación, o en el caso de que se suscite un accidente debe de existir protecciones que mitiguen las consecuencias de éste.

Para evitar o minimizar el riesgo de que se suscite un accidente se debe de tener un control estricto en las condiciones de los procesos de estas instalaciones, tener personal capacitado para la operación y situaciones de emergencia, mantenimiento continuo de equipos y tuberías, sistemas de seguridad adecuados, etc.

Los análisis de riesgos sirven para identificar las fuentes de peligro y eventos potencialmente peligrosos en las industrias química, de refinación y petroquímica, para jerarquizar los riesgos asociados a estos peligros y para evaluar las consecuencias de los eventos identificados y la probabilidad de que ocurran éstos. Con el análisis de riesgos se evalúa la eficacia de las medidas de seguridad o de las protecciones y es una herramienta para la toma de decisiones en materia de seguridad.

Algunos de los métodos de análisis de riesgos para la identificación de peligros son: Análisis del error humano, Análisis Que pasa si ...?, Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE), Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP). La evaluación de la probabilidad de que ocurran eventos potencialmente peligrosos puede hacerse por medio de el Análisis de Árbol de Fallas (AAF) y Análisis de Árbol de Eventos (AAE). El análisis de consecuencias sirve para evaluar la magnitud de los daños ocasionados por eventos peligrosos.



En la unidad de hidrodeseintegración catalítica (H-OIL), los residuos de vacío (combustóleo pesado (C_{25} - C_{35}) y asfaltos ($>C_{39}$)) llegan para procesarlos y transformarlos en productos gaseosos (C_1 - C_5), nafta, queroseno, gasóleo y combustóleo de bajo contenido de azufre. La importancia de estos compuestos radica en su utilidad posterior ya que los productos gaseosos (C_1 - C_5) se utilizan como combustible (gas natural (C_1 - C_2) y gas LP (C_3 - C_4)) o como materia prima para la petroquímica, como ocurre con la nafta (C_5 - C_9); el queroseno (C_{10} - C_{14}) como combustible para avión (turbosina), estufas y calefacción (petróleo diáfano), tractores y máquinas agrícolas, etc.; el gasóleo (C_{15} - C_{23}) como alimentación a las plantas catalíticas o como combustible para máquinas diesel y hornos; el combustóleo se usa en las calderas de las termoeléctricas.

La unidad H-OIL tiene 4 secciones principales las cuales son: sección de alimentación, sección de alimentación de hidrógeno, sección de reacción y sección de separación vapor/líquido, esta última sección maneja 3 distintos niveles de presión y se divide en circuitos de alta presión (presiones mayores a los 200 kg/cm^2), de presión intermedia (presiones entre los 32 y 29 kg/cm^2) y de baja presión (presiones menores a los 10 kg/cm^2), estos circuitos interactúan entre si.

En la sección de reacción suceden la hidrodeseintegración, la desulfuración y la denitrificación. La hidrodeseintegración es el rompimiento de moléculas grandes a más pequeñas consumiendo hidrógeno (H_2) y generando calor. De la desulfuración se obtienen productos libres de azufre y ácido sulfhídrico (H_2S), el cual se remueve por absorción utilizando DEA (dietanolamina-($OH-CH_2-CH_2$) $_2$ -NH). Con la denitrificación se elimina el nitrógeno de los compuestos orgánicos, convirtiéndolo a amoníaco (NH_3). Estas dos últimas reacciones también consumen hidrógeno.



JUSTIFICACIÓN

En la industria de la refinación hay una gran variedad de procesos que están enfocados para crear productos para el beneficio del hombre, entonces se necesita que este tipo de instalaciones existan, y por lo tanto también se debe de garantizar que éstas son seguras. El proceso de la unidad H-OIL es parte de esta industria y requiere de presiones muy elevadas, además del manejo de sustancias como el ácido sulfhídrico el cual es una sustancia muy tóxica, así que para conseguir que esta unidad sea segura, ésta debe de contar con las suficientes medidas de seguridad como son programas de mantenimiento a instrumentos, equipo, válvulas, planes de emergencia, alarmas, válvulas de seguridad, controladores, etc., y esto se logra conociendo, evaluando, jerarquizando, caracterizando, comunicando los riesgos inherentes a esta planta. La solución para realizar estas acciones es hacer un análisis y evaluación de riesgos en la unidad H-OIL.

OBJETIVOS

1. Identificar los peligros y jerarquizar los riesgos en el circuito de presión intermedia de la unidad H-OIL por medio de un método de análisis de riesgos adecuado.
 2. Determinar la probabilidad y la frecuencia para un evento culminante por medio de un método de análisis de riesgos adecuado.
 3. Determinar la magnitud de las consecuencias de un evento culminante por medio del análisis de consecuencias.
-

CAPÍTULO

I



1. GENERALIDADES

En la introducción se mencionaron algunos conceptos como análisis, evaluación, identificación, riesgo, peligro, accidente, medida de seguridad, etc., y después se mencionaron algunos métodos de análisis de riesgos como el Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP), análisis de árbol de fallas, análisis de consecuencias, etc., en este capítulo se tratan estos aspectos, comenzando por algunas definiciones.

1.1. DEFINICIONES ^(1, 5, 9 y 15)

A continuación se dan las definiciones de algunos términos utilizados a lo largo de este trabajo escrito.

Accidente. Suceso no anticipado e incontrolado capaz de producir daños en personas, medio ambiente e instalaciones.

Análisis de riesgos. Proceso sistemático para identificar peligros, evaluar, jerarquizar y caracterizar riesgos en las industrias químicas, de refinación y petroquímicas, reconociendo las causas y efectos de eventos potencialmente peligrosos.

Controles administrativos. Son los que la administración establece mediante acciones como la revisión, modificación, actualización o elaboración de procedimientos, programas o normas, capacitación del personal de todos los niveles del negocio, la adquisición y provisión de equipo o herramientas adecuadas a los trabajadores para evitar lesiones, etc.

Controles de ingeniería. Son aquellos que se establecen con la aplicación de la tecnología y de las mejoras prácticas de manufactura como la sustitución de materiales peligrosos por materiales menos peligrosos, modificaciones en los procesos (cambio de equipo, cambio en las condiciones de operación, etc.), aislamiento o confinamiento de los procesos, ventilación, extracción, mantenimiento predictivo y preventivo, etc.

Escenario del “peor de los casos”. “Un escenario del peor de los casos es uno que supone las consecuencias potenciales de la liberación del inventario total de materiales peligrosos en una instalación, sin consideración de alguna medida de control en el sitio.” ⁽¹⁵⁾



Estudio costo-beneficio. Criterio para la toma de decisiones, basado en la comparación del beneficio de una medida de control contra su costo.

Evaluación de riesgos. Proceso utilizado para conocer la probabilidad de la ocurrencia de un evento y la magnitud de sus consecuencias.

Evento culminante. Situación final que puede ser un accidente a la que se llega debido a una serie de fallas de equipo y/o errores humanos.

Identificación de peligros. Es el proceso de conocer la situación física con el potencial de ocasionar daños a personas, propiedades y medio ambiente.

Incidente. "Situación anómala, en general asociada al vertido, el escape o la explosión, que provoca daños materiales de poca importancia y que no comporta en ningún momento un riesgo para la instalación industrial y su entorno."⁽⁵⁾

Intento de diseño. Criterio para entender el funcionamiento correcto de una planta.

Mantenimiento predictivo y preventivo. Acciones en base a un procedimiento que realiza el personal para mantener en condiciones de trabajo equipos, líneas, instrumentos, válvulas, etc.

Medida de seguridad. Elementos de una instalación para evitar o mitigar riesgos, éstos pueden ser detectores de gases, válvulas de seguridad, planes de emergencia, procedimientos de mantenimiento, etc.

Peligro. Agente químico, biológico o físico o una serie de condiciones que tienen un efecto desfavorable en el ser humano, en la propiedad, en el medio ambiente o una combinación de los tres.

Radios de afectación. Son distancias que representan las zonas de alto riesgo y amortiguamiento de un evento culminante.

Riesgo. Probabilidad de que un evento pueda causar pérdida o daño.

Riesgo = (probabilidad del evento) x (magnitud del daño o consecuencias)

Toma de decisiones. Proceso final de un análisis de riesgos en el cual se decide a nivel administrativo los pasos a seguir para controlar el riesgo.



Zona de alto riesgo. Área que representa la zona donde existen niveles de sobrepresión, radiación o tóxicos que pueden provocar grave daño a el ser humano, medio ambiente y propiedad.

Zona de alto riesgo. “Área de restricción total en la que no se debe permitir ningún tipo de actividad, incluyendo asentamientos humanos, agricultura con excepción de actividades de forestación, cercamiento y señalamiento de la misma, así como el mantenimiento y vigilancia.”⁽⁹⁾

Zona de amortiguamiento. “Área donde pueden permitirse determinadas actividades productivas que sean compatibles, con la finalidad de salvaguardar a la población y al ambiente restringiendo el incremento de la población asentada.”⁽⁹⁾



1.2. ANÁLISIS DE RIESGOS (5, 8, 10 y 11)

Los objetivos del análisis de riesgos son la identificación de peligros, la evaluación, clasificación, caracterización y la mitigación de los riesgos en instalaciones industriales potencialmente peligrosas (industria nuclear, refinación del petróleo, procesos químicos), por medio de un estudio sistemático de las mismas. Estos objetivos se logran al identificar y evaluar las condiciones de seguridad de las instalaciones de almacenamiento y/o proceso de productos peligrosos. Dependiendo del grado de detalle y nivel que se necesite alcanzar los análisis de riesgos pueden ser de tipo cualitativo, semicuantitativo o cuantitativo.

Figura 1.1. Utilidad del análisis de riesgos.





1.3. ENFOQUES DEL ANÁLISIS DE RIESGOS ^(10, 11, 12 y 15)

Los enfoques del análisis de riesgos son diferentes en mayor grado en términos de nivel y detalle; el nivel adecuado se determina por los peligros específicos, la disponibilidad de datos y el nivel de riesgo inherente en un proceso estimado. Entre más detallado sea un estudio, más tiempo y recursos requiere. “Las políticas corporativas o los requerimientos reglamentarios con frecuencia especifican la metodología, nivel del detalle o formato de los resultados”. ⁽¹⁵⁾

Los análisis de riesgos cualitativos y semicuantitativos se utilizan para clasificar, utilizando una medida relativa del riesgo como es un escenario del “peor de los casos”.

Los estudios cuantitativos son los más extensos y son los que requieren mayor inversión para su realización. La mayoría de las empresas adoptan un enfoque de niveles múltiples para el estudio del riesgo, esta acción ayuda a los analistas a determinar que áreas deben recibir un análisis más detallado.

Tabla 1.1. Resumen de los enfoques de los análisis de riesgos. ⁽¹⁵⁾

| Nivel | Estrategia de determinación del riesgo | Resultado de acciones | Tipo de análisis |
|-------|--|--|------------------|
| 1 | Clasificación | Identificación de consecuencias del peor de los casos y evaluación de inventarios de materiales peligrosos importantes. | Cualitativo |
| 2 | Encuesta | Evaluación semicuantitativa de los principales peligros del proceso, sistemas de administración de la seguridad, capacidades de respuesta de protección a incendios/emergencias. | Semicuantitativo |
| 3 | Evaluación | Cuantificación plena de los riesgos operacionales. | Cuantitativo |



1.4. TIPOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS

1.4.1. ANÁLISIS CUALITATIVO ^(10, 11 y 15)

El enfoque cualitativo presenta revisiones de los peligros del peor de los casos y se asignan sitios de las plantas o actividades dentro de la planta que representen el mayor riesgo, en base a los siguientes factores: ⁽¹⁵⁾

- Inventario de materiales peligrosos (cantidad máxima)
- Propiedades de materiales peligrosos (toxicidad, inflamabilidad)
- Condiciones de almacenamiento (temperatura, presión)
- Distribución de la población

El estudio genera factores de riesgo y su prioridad se establece por medio de calificaciones de riesgo que se comparan contra un rango predeterminado, en donde este rango puede obtenerse a través de la comparación de puestos contra situaciones de alto riesgo conocidas.

La consideración más importante en la clasificación es el inventario de materiales peligrosos que podrían liberarse, entonces se elabora clasificaciones por prioridades de instalaciones o actividades dentro de la planta, que permiten a la empresa decidir que áreas dentro de la planta son de alto riesgo ameritando más evaluaciones, de medio riesgo donde la evaluación puede esperar y de muy bajo riesgo donde no se necesita una evaluación mayor.

La clasificación de riesgos ayuda a la administración de la compañía a decidir dónde hay que asignar recursos en métodos de evaluación. En el análisis de riesgos los métodos sólo deben usarse en el grado necesario para la toma de decisiones en cuanto al control del riesgo.

La clasificación de riesgos se hace mediante la recopilación de información de las instalaciones y pocas veces incluyen inspecciones en el sitio. Al planificar un estudio de clasificación de riesgos deben de tomarse en cuenta problemas como los siguientes: ⁽¹⁵⁾

- Suposiciones utilizadas para desarrollar estimados de frecuencias y consecuencias
- Definiciones de estimados de riesgo cualitativo (por ejemplo altos, medianos o bajos)



- Bases para la asignación de prioridades de riesgos (criterios para comparación)
- Condiciones bajo las cuales otros análisis adicionales deben realizarse

Una vez evaluado el riesgo, éste puede clasificarse de la siguiente manera:

Tabla 1.2. Clasificación cualitativa de riesgos. ⁽¹⁵⁾

| Clase | Descripción de la clasificación |
|---------|---|
| Clase A | Procesar riesgos o deficiencias en sistemas de administración de riesgos considerados como que requieren acción pronta para mitigar peligros potenciales. |
| Clase B | Procesar riesgos o deficiencias en sistemas de administración de riesgos, son de naturaleza “menos seria” y son menos urgentes que los de Clase A. |
| Clase C | Otras áreas de posible reducción de riesgos o mejoría en los sistemas de administración de riesgos. |

El reporte de clasificación de riesgos debe contener un análisis de la metodología, una presentación y análisis de los resultados de asignación de prioridades y un análisis de las recomendaciones.

1.4.2. ANÁLISIS SEMICUANTITATIVO ^(10, 11 y 15)

En el enfoque semicuantitativo se realizan encuestas de riesgos para identificar y clasificar eventos episódicos que son acontecimientos que ocurren sin advertencia durante un periodo corto y que tienen efectos muy serios en personas y propiedades. Lo utilizan empresas con grandes números de instalaciones de procesos diversos. Se incluyen aspectos como: ⁽¹⁵⁾

- Peligros del proceso
- Sistemas de administración de la seguridad
- Equipo y plan de respuesta para la protección a incendios y/o emergencias
- Consecuencias de accidentes
- Clasificación de riesgos de escenarios donde hay materiales peligrosos
- Recomendaciones para la minimización de riesgos



Los resultados obtenidos en encuestas muestran: ⁽¹⁵⁾

- Deficiencias en programas de prueba, mantenimiento preventivo y en la administración de procedimientos de cambio
- Documentación obsoleta (DTI's y procedimientos de operación)
- Falta de programas de capacitación y del establecimiento de un plan de respuesta a emergencias apropiado
- Revisión informal de identificación de peligros
- Protecciones contra incendio y presurización inadecuados
- Aislamiento de grandes inventarios inapropiado

La clasificación semicuantitativa de riesgos permite a los gerentes asignar prioridades de medidas preventivas y recursos a los escenarios potencialmente peligrosos.

Tabla 1.3. Clasificación semicuantitativa de riesgos. ⁽¹⁵⁾

| Clase | Descripción de la clasificación |
|-----------|--|
| Clase I | Riesgos con la importancia suficiente que requieran un cierre inmediato de una unidad operativa hasta que el peligro sea mitigado. Ejemplo: Desviar un sistema de cierre de emergencia. |
| Clase II | Otros riesgos o deficiencias serias en el proceso en los sistemas de administración de riesgos que exijan acción inmediata para mitigar el peligro potencial. Ejemplo: Carencia de un programa de pruebas que verifique la operación de válvulas de bloqueo operadas a control remoto. |
| Clase III | Riesgos o deficiencias del proceso en los sistemas de administración de riesgos de naturaleza "menos seria" que los de Clase II. Ejemplo: Diagramas de flujo de proceso que necesitan actualizarse. |
| Clase IV | Otras áreas de reducción o mejoría de riesgos posibles en los sistemas de administración de riesgos. Ejemplo: Falla de hacer seguimiento a los reportes de accidentes. |



1.4.3. ANÁLISIS CUANTITATIVO ^(2, 12 y 15)

El enfoque cuantitativo de riesgos se hace identificando los peligros posibles en el sistema de estudio, estimando la frecuencia de eventos y el cálculo de las consecuencias de situaciones físicas peligrosas. A continuación se describen las fases de un análisis cuantitativo.

1.4.3.1. Identificación de peligros

Es el proceso de conocer la situación física con el potencial de ocasionar daños a personas, propiedades y medio ambiente. Esta acción se realiza por medio de los métodos de análisis de riesgos, tales como: Análisis del error humano, Análisis Que pasa si ...?, Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE), Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP), etc.

Los estudios de análisis cuantitativo de riesgos requieren de información muy detallada de casos de fallas o de acontecimientos importantes, para poder realizar las determinaciones posteriores de frecuencia, consecuencia y riesgo.

1.4.3.2. Estimación de la frecuencia

Se necesita conocer la frecuencia de las fallas de equipo o de otros eventos que conducen a un acontecimiento no deseado. La estimación se apoya en técnicas como el de Análisis de Árbol de Fallas (AAF) y Análisis de Árbol de Eventos (AAE).

1.4.3.3. Cálculo de consecuencias

Se realiza mediante enfoques de modelado matemático para la estimación de situaciones físicas peligrosas de un incidente, tales como su extensión, severidad y duración. La herramienta para este propósito es el análisis de consecuencias.

1.4.3.4. Toma de decisiones

El análisis cuantitativo de riesgos ayuda a la gerencia de la empresa a reconocer los eventos no deseados y darles una importancia relativa, permitiendo la toma de decisiones



enfocadas a esfuerzos conjuntos para la mitigación del riesgo en función de la prioridad, resuelta con un estudio costo-beneficio.

Los métodos de análisis de riesgos para la identificación de peligros, estimación de la frecuencia y cálculo de consecuencias, se presentan a continuación.

1.5. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE RIESGOS ^(5, 8, 10, 11 y 15)

Los métodos de análisis de riesgos identifican los peligros, evalúan, jerarquizan y caracterizan riesgos, evalúan la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de eventos en el proceso de manera racional y sistemática.

Algunos de los más comunes son:

- Análisis del Error Humano
- Análisis Que pasa si ... ? (What if ... ?)
- Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE)
- Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP)
- Análisis de Árbol de Fallas (AAF)
- Análisis de Árbol de Eventos (AAE)
- Análisis de consecuencias

Para la identificación de peligros se utilizan los métodos análisis del error humano, análisis que pasa si ...?, análisis de modos de fallas y efectos y el análisis de peligros y operabilidad.

Para la evaluación del riesgo de acuerdo a su probabilidad de ocurrencia se usan el análisis de árbol de fallas y el análisis de árbol de eventos. Su objetivo es optimizar los sistemas de seguridad con consideraciones en confiabilidad y disponibilidad.

Para la evaluación del riesgo de acuerdo a la magnitud de sus consecuencias se usa el análisis de consecuencias. Su objetivo es minimizar el riesgo potencial y divisar las medidas de protección óptimas.



Tabla 1.4. Métodos para identificación de peligros.

| | Análisis del error humano | Análisis Que pasa si ...? | Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) | Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP) |
|---------------------|---|---|---|---|
| Descripción | Evaluación sistemática de los factores que afectan el comportamiento y desarrollo del personal. | Método no estructurado en donde se hacen preguntas sobre sucesos no esperados que puedan provocar una respuesta indeseable. | Reporte que establece las diferentes posibilidades de falla de equipos o sistemas y la respuesta o accidente a dicha falla. | Método inductivo que sostiene que los accidentes ocurren debido a desviaciones de los parámetros de operación de las condiciones normales. |
| Propósito | Identificación de las áreas o situaciones que pueden generar un error humano. | Identificación de problemas de diseño, construcción u operación que pueden originar accidentes. | Identificación de los modos de falla en el equipo y sus efectos en un sistema de una planta química. | Identificación de desviaciones de la intención de diseño de un proceso, sus causas y consecuencias y los sistemas de protección instalados. |
| Aplicaciones | Durante la fase de diseño modificación u operación de la instalación. | En la fase de diseño, construcción, operación, modificación o investigación de incidentes en la instalación. | En la fase de diseño, operación, modificación o investigación de incidentes en la instalación. | En la fase de diseño, construcción, operación, modificación o investigación de incidentes en la instalación. |



Tabla 1.4. Métodos para identificación de peligros (continuación).

| | Análisis del error humano | Análisis Que pasa si ...? | Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) | Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP) |
|------------------|--|--|--|---|
| Resultados | <p>Un listado de errores humanos que podrían ocurrir durante la operación normal y de emergencia.</p> <p>Una lista de los factores que contribuyen en los errores.</p> <p>Propuesta de modificaciones para la eliminación o reducción de dichos errores.</p> | <p>Lista de problemas que bajo ciertas circunstancias pudieran originar accidentes en diversas áreas.</p> <p>Sugerencias de acciones para prevenir o mitigar accidentes.</p> | <p>Lista sistemática de los modos de falla del equipo y sus efectos.</p> | <p>Hojas de registro con los subsistemas analizados, desviaciones de las condiciones normales de operación, causas de las desviaciones, consecuencias de las causas, protecciones del sistema, recomendaciones de acciones para prevenir las causas o mitigar las consecuencias, y valores cualitativos del riesgo.</p> |
| Datos requeridos | <p>Procedimientos de operación normal y de emergencia, conocimientos de capacitación para el personal, esquema de los tableros de control y alarmas, descripciones de trabajo para el personal.</p> | <p>Documentación detallada de la planta, del proceso (DFP's y DTT's), de los procedimientos, y posibles entrevistas con personal de operación.</p> | <p>DTT's y lista de equipos.</p> | <p>Manual de operación, DFP's, DTT's, hojas de seguridad de materiales, historial de accidentes, descripción de sistemas de seguridad, PLG o Plot Plan, materiales de construcción, códigos y normas de diseño.</p> |



Tabla 1.4. Métodos para identificación de peligros (continuación).

| | Análisis del error humano | Análisis Que pasa si ...? | Análisis de Modos de Fallas y Efectos (AMFE) | Análisis de Peligros y Operabilidad (HAZOP) |
|------------------|---|---|--|---|
| Personal | Una persona con amplia experiencia en análisis del error humano, ingeniería de factores humanos, etc. | 2 ó 3 personas especialistas en el área de seguridad eléctrica, protección contra-incendios, etc. | 2 analistas que conozcan muy bien las funciones de cada equipo y proceso de su área. | Equipo multidisciplinario integrado por un facilitador (experto en el análisis HAZOP), secretario, ingeniero de proceso, de operación, de seguridad, de instrumentación, de mantenimiento, mecánico, etc. |
| Tiempo requerido | Según el número de tareas y errores a analizar, y del tamaño y complejidad de la instalación. | Es proporcional al tamaño de la planta y el número de áreas a investigar. | Menor a otros métodos de identificación de peligros. | Es proporcional al tamaño de la planta y el número de áreas a investigar. Requiere de mayor tiempo que otros métodos de identificación de peligros. |



Tabla 1.5. Métodos para evaluación de la probabilidad.

| | Análisis de Árbol de Fallas | Análisis de Árbol de Eventos |
|------------------|--|---|
| Descripción | Representación gráfica de los factores que intervienen para llegar a un accidente. | Representación gráfica de los sucesos posteriores a un evento inicial, tomando en cuenta la falla o no de las protecciones del sistema. |
| Propósito | Identificación de fallas de equipo y humanas que llevan a la ocurrencia de un accidente. | Identificación de la secuencia de eventos que siguen a una falla o error que llevan a accidentes. |
| Aplicaciones | Durante la fase de diseño, modificación, operación o investigación de incidentes en la instalación. | Durante la fase de diseño, modificación, operación o investigación de incidentes en la instalación. |
| Resultados | Despliegue gráfico de cadenas de fallas y defectos en los equipos, procedimientos, errores humanos, etc., que llevan a un accidente. | Producir árboles de eventos que ilustren la evolución de estos eventos que generan accidentes, siguiendo la línea del evento ya iniciado. |
| Datos requeridos | DTI's, especificaciones y dibujos de equipo, procedimientos de operación, etc. | Conocimiento de inicio de eventos, procedimientos y mitigación de equipo. |
| Personal | Una persona con conocimientos en procesos de plantas. | 2 ó 4 personas con conocimientos en equipo y procesos. |
| Tiempo requerido | Puede consumir bastante tiempo en instalaciones complejas. | Es proporcional al tamaño y complejidad de la planta. |



Los métodos presentados tienen limitaciones y desventajas las cuales se presentan a continuación.

El análisis del error humano se limita al estudio de los errores por parte del personal.

En el análisis que pasa si ...? se necesita que los analistas cuenten con mucha experiencia para la realización de las preguntas de tal forma que no falte la identificación de algún problema potencial.

El AMFE se basa en las formas de fallas de un equipo, no se consideran combinaciones de fallas, el factor humano y los factores externos (como condiciones ambientales) sólo se consideran si éstos intervienen en la falla del equipo. Son necesarios varios AMFE para poder considerar un sistema con múltiples modos de operación.

El HAZOP es un método que consume gran cantidad de tiempo.

El AAF sólo examina un accidente, la estructura de un árbol varía entre un analista y otro pudiendo ser sus resultados comparables pero no idénticos, y la asignación de probabilidad a las fallas requiere de amplia experiencia.

El AAE no identifica varias causas que puedan resultar en un accidente, sólo se limita a la línea de secuencia del evento inicial.



1.5.1. ANÁLISIS DE PELIGROS Y OPERABILIDAD (HAZOP-HAZARD AND OPERABILITY ANALYSIS) ^(6, 8, 11 y 15)

1.5.1.1. Descripción

Esta técnica fue usada y desarrollada hace aproximadamente cuatro décadas y es de tipo cualitativo. El estudio es realizado por un equipo multidisciplinario, que mediante el uso de palabras guía, identifica peligros y problemas de operabilidad provocados por el desvío de las condiciones de operación normales en un proceso químico industrial o de refinación.

A continuación se da la terminología empleada en un análisis HAZOP; después se da una lista del plan de trabajo del equipo HAZOP y la documentación necesaria para realizar el estudio; lo siguiente es dar a conocer la metodología para llevar a cabo el HAZOP, también se muestran los criterios para evaluar cualitativamente el grado de riesgo, resultados obtenidos y las fases de una planta en donde se puede aplicar el HAZOP.

1.5.1.2. Terminología HAZOP

Causa. Es lo que hace que un incidente o accidente ocurra. Por ejemplo, falla de un equipo, de un instrumento, error humano, condiciones meteorológicas, etc.

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

Desviación. Son las palabras guía que indican una modificación cualitativa de los parámetros a analizar.

Facilitador. Experto en los análisis HAZOP que encabeza el estudio.

Grado de riesgo. Es la combinación matemática entre la frecuencia y la gravedad.

$$\text{Grado de Riesgo (pérdida/año)} = \text{Índice de Frecuencia (accidente/año)} * \text{Índice de Gravedad (pérdida/accidente)}$$



Nodo. Es una subdivisión de un sistema de proceso, que tiene un origen, en donde comienzan nuevas propiedades del material procesado, y un destino, en donde nuevamente hay un cambio de propiedades. Este debe ser lo suficientemente pequeño para que sea manejable y suficientemente grande para que sea significativo.

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

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

Probabilidad y frecuencia. La **Probabilidad** es la posibilidad matemática de que un evento ocurra y se expresa en fracciones entre 0 y 1. La absoluta imposibilidad es 0 y la absoluta certeza es 1. La **Frecuencia** es el número de fallas de un componente o equipo, o el número de errores humanos por año, día, hora o demanda.

Protección. Son las alarmas, instrumentos, controladores, válvulas de control, válvulas de seguridad, detectores, programas de simulacros, de inspección, etc., que tiene un sistema de proceso (tubería, recipiente, reactor, etc.) para reducir la probabilidad de que ocurra un accidente o para mitigar sus efectos.

1.5.1.3. Plan de trabajo HAZOP y documentación necesaria

Este plan de trabajo puede realizarse de acuerdo a los siguientes puntos:

- Propósito de estudio
- Equipos a analizar
- Lugar, fecha y tiempo de las sesiones HAZOP
- Miembros del equipo HAZOP
- Lista de documentos a utilizarse

Documentos necesarios para la realización del análisis HAZOP.

- Manual de operación
- Diagramas de flujo de proceso (DFP's)
- Diagramas de tubería e instrumentación (DTI's)
- Hojas de seguridad de los materiales
- Historial de accidentes



- Descripción de sistemas de seguridad
- Plano de localización general de equipo (PLG o Plot Plan)
- Materiales de construcción
- Códigos y normas de diseño

Toda la información contenida en los documentos mencionados debe de estar actualizada para la realización correcta y efectiva del estudio.

1.5.1.4. Método

El estudio se lleva a cabo en sesiones por un equipo formado por especialistas de las diferentes áreas existentes en la instalación (ingeniero de proceso, seguridad, instrumentación o control, mecánico, etc.), un secretario y un facilitador. Se definen los sistemas del proceso que se van a analizar en los DTI's y DFP's. Estos sistemas se dividen en secciones específicas de proceso llamadas "nodos" los cuales son identificados en los DTI's. El criterio de selección de cada nodo se hace de acuerdo a los puntos del proceso en donde halla una variación significativa de alguna de las variables de proceso.

Una vez conocidos los nodos de estudio se determina la intención de diseño de la parte del proceso que se va a analizar. Esto se realiza con el fin de conocer como el proceso está supuesto que funcione si todos los componentes están operando apropiadamente.

En cada sesión se estimula la creatividad de los participantes para la búsqueda de posibles desviaciones del intento de diseño en el nodo. A cada nodo se le asocia desviaciones de algún parámetro usando palabras guía. Por ejemplo en el caso de tener un tanque en donde el parámetro de estudio sea el nivel y éste se encuentre alto, se utiliza la palabra guía "más" seguida de la palabra nivel quedando "más nivel", indicando así la desviación del nodo: "más nivel en el tanque". Se utilizan todas las palabras guía para cada parámetro y se desechan las poco significativas.

La siguiente tabla muestra algunas palabras guía.



Tabla 1.6. Palabras guía.

| PALABRA GUÍA | SIGNIFICADO |
|--------------|--------------------------|
| No | Negación de la intención |
| Más | Incremento cuantitativo |
| Menos | Decremento cuantitativo |
| Parte de | Decremento cualitativo |
| También como | Incremento cualitativo |
| Inverso | Opuesto lógico |
| Otro | Sustitución completa |

A continuación se muestra la matriz de desviaciones con el uso de las palabras guía y algunos parámetros.



Tabla 1.7. Matriz de desviaciones.

| PALABRA GUÍA | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------|------------------|------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| PARÁMETRO | No | Inverso | Más | Menos | Parte de | También | Otro |
| Flujo | No flujo | Retroceso | Más flujo | Menos flujo | Composición | Contaminación | Materiales equivocados |
| Presión | Vacío | X | Más presión | Menos presión | X | Golpe de ariete | X |
| Temperatura | X | X | Alta temperatura | Baja temperatura | Gradiente | Oxidación/fragilización | X |
| Viscosidad | X | X | Alta viscosidad | Baja viscosidad | Cambio de fase | X | X |
| Nivel | Vacío | X | Nivel alto | Nivel bajo | X | X | X |
| Mezcla | No mezcla | X | Mezcla excesiva | Mezcla pobre | X | Espuma | X |
| Reacción | No reacción | Reacción inversa | Reacción descontrolada | Reacción incompleta | Reacción secundaria | Cambio de fase | Reacción equivocada |
| Operación | Falla de servicios | X | Descollamiento | Espera | Arranque / paro | Mantenimiento | Muestreo |
| Secuencia | Omitido | Paso hacia atrás | Paso anticipado | Paso retrasado | Parte del paso | Acción extra incluida | Acción equivocada |
| Aterrizamiento | Fuentes de ignición | X | X | X | X | X | X |
| Instrumentación | Falla de instrumentos | X | Confiabilidad | X | X | Alarmas | Paro de emergencia |
| Contenedor | Ruptura | X | X | X | X | Seguridad | Ambiente |



Conociendo las desviaciones el equipo HAZOP realiza una lista de todas las posibles causas que provocan cada desviación, considerando fallas en los equipos, errores humanos, fuerzas externas (temblores, inundaciones, tormentas) y procesos de estado no anticipados (cambios de composición, evaporación, formación de hielo).

A continuación se hace una lista con las consecuencias de las causas asumiendo que cualquier sistema de protección instalado es inefectivo o no existe, y una lista de las protecciones que pueden ser acciones de los operadores, alarmas de proceso y sistemas automáticos de respuesta. El siguiente paso es jerarquizar el riesgo, por medio de una evaluación cualitativa en donde se asignan la frecuencia de las causas y la gravedad de las consecuencias, estos valores los adjudica el equipo multidisciplinario de acuerdo a su experiencia y con ayuda de tablas que facilitan el razonamiento de éste (Tablas 1.8. y 1.9.). Con la frecuencia y la gravedad se evalúa el grado de riesgo considerando las protecciones existentes, este grado de riesgo indica la aceptabilidad del riesgo, cuando un riesgo no es aceptable se hacen recomendaciones para fomentar las acciones correctivas. Estas acciones van enfocadas a la reducción de la frecuencia de la causa y/o la gravedad de la consecuencia, con el fin de reducir el grado de riesgo, y éstas pueden ser para el cambio en el diseño, equipo y procedimientos de operación de la planta, mejora en la capacitación del personal y en el mantenimiento de la misma planta.

El proceso se repite con la siguiente desviación hasta terminar el nodo, después se sigue con el próximo nodo; así sucesivamente hasta completar toda la sección del proceso analizada.

Tabla 1.8. Frecuencias. ⁽¹⁴⁾

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

Tabla 1.9. Gravedades. ⁽¹⁴⁾

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

La prioridad de las acciones recomendadas y la aceptabilidad del riesgo se basan en la matriz de riesgo.



1.5.1.5. Matriz de riesgo

La matriz de riesgo es el criterio para dar prioridad a las acciones correctivas y para conocer el grado de riesgo aceptable; ésta combina la frecuencia de un accidente y la gravedad de las consecuencias de éste. De la matriz se obtiene un número que permite conocer la tolerancia o no del riesgo.

Figura 1.2. Matriz de riesgo. ⁽¹⁴⁾

| Gravedad | | | | |
|----------|---|---|---|---|
| 4 | 3 | 2 | 1 | |
| 6 | 4 | 3 | 1 | 1 |
| 7 | 6 | 4 | 3 | 2 |
| 9 | 7 | 6 | 4 | 3 |
| 10 | 9 | 7 | 6 | 4 |

Frecuencia

Entre más pequeño sea el número el riesgo es mayor. Después de la estimación del riesgo se le asigna una letra de la "A" a la "D" para clasificar la recomendación.

Figura 1.3. Matriz de clase de riesgo. ⁽¹⁴⁾

| Gravedad | | | | |
|----------|---|---|---|---|
| 4 | 3 | 2 | 1 | |
| C | B | A | A | 1 |
| D | C | B | A | 2 |
| D | D | C | 4 | 3 |
| D | D | D | C | 4 |

Frecuencia



Tabla 1.10. Clase de riesgo. ⁽¹⁴⁾

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

A continuación se muestra un diagrama del método HAZOP.



Figura 1.4. Diagrama lógico de ejecución del análisis HAZOP. ⁽⁶⁾

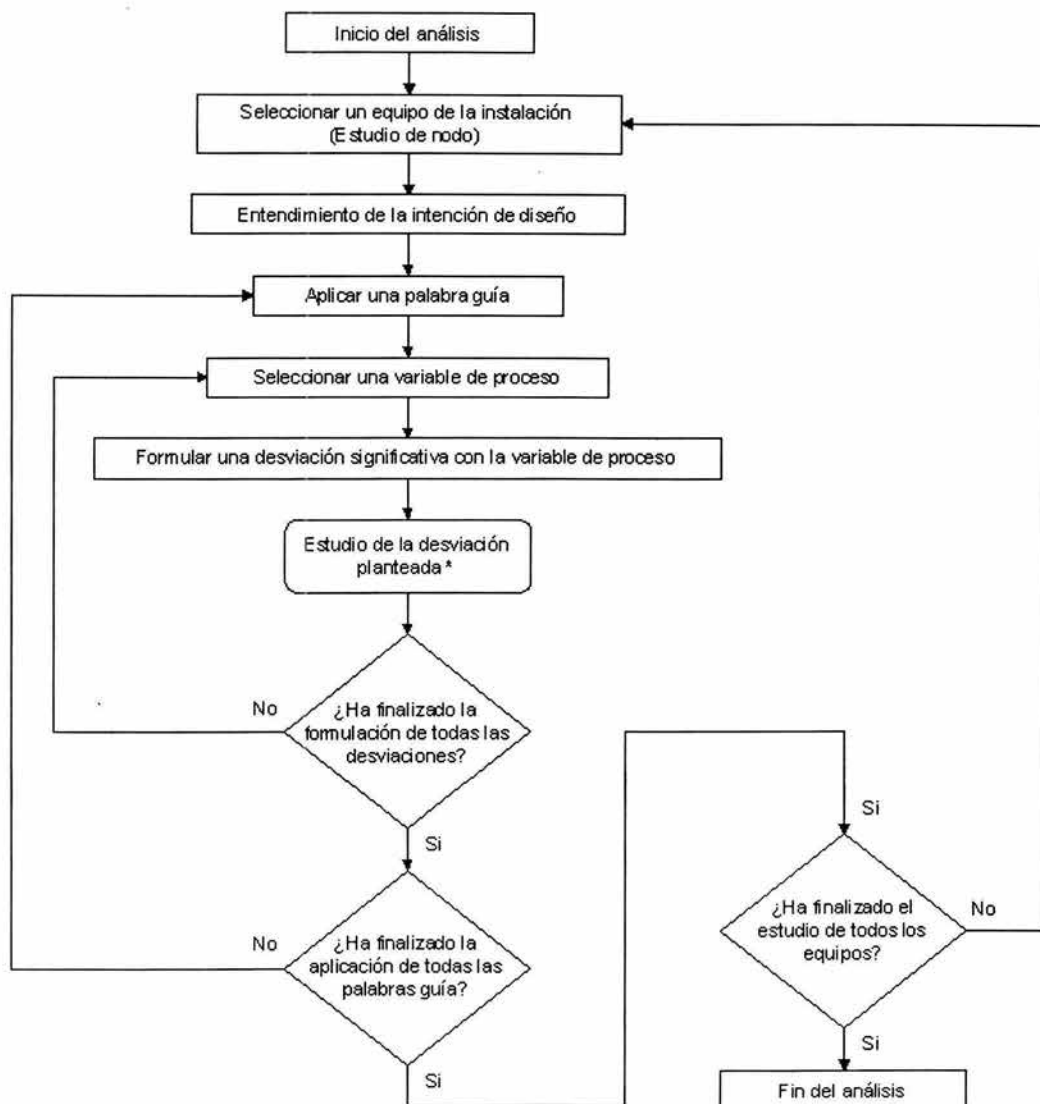
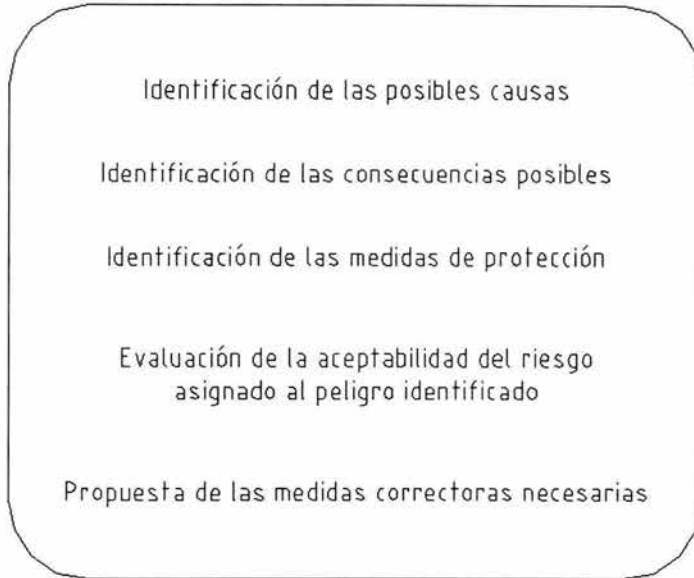




Figura 1.4. Diagrama lógico de ejecución del análisis HAZOP (continuación).⁽⁵⁾

Estudio de la desviación x



1.5.1.6. Resultados y aplicabilidad ^(1 y 5)

El principal resultado del HAZOP es un listado de situaciones peligrosas, problemas operativos y una serie de medidas orientadas a la reducción de la frecuencia de ocurrencia de las causas o a la mitigación de las consecuencias. Dichas medidas se dan en cambios físicos en la instalación, cambios de procedimientos de operación o recomendaciones de estudios posteriores o la conveniencia de los cambios propuestos.

El HAZOP es una herramienta de estudio para procesos en fase de diseño, construcción, pre-arranque/arranque, operación, modificación (cambio/expansión) e investigación de incidentes.



1.5.2. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS (AAF) ^(5, 8, 11 y 15)

1.5.2.1. Definición

La técnica de análisis de árbol de fallas fue creada por Bell Telephone Laboratories al inicio de la década de los sesenta, con su primera aplicación a la verificación de la fiabilidad del sistema de control del lanzamiento de cohetes. Posteriormente se aplicó en el campo nuclear y después en el campo químico.

El árbol de fallas es un despliegue gráfico de cadenas de fallas y defectos en los equipos, procedimientos, errores humanos, etc., que llevan a un evento culminante. Con esta técnica se estudia las causas de los sucesos indeseados y permite identificar los puntos débiles de un sistema.

1.5.2.2. Identificación del evento culminante

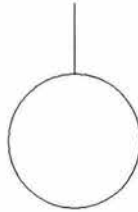
Antes de hacer un árbol de fallas se debe de obtener la información del sistema a analizar con el fin de determinar el evento culminante. Esta información se obtiene de otros estudios hechos con anterioridad del sistema en cuestión. Conociendo el evento culminante a analizar, lo siguiente es la identificación de los eventos intermedios y las relaciones lógicas que conducen al accidente.

Se definen las condiciones límite bajo las cuales se va a realizar el análisis. Estas condiciones incluyen lo siguiente: límites físicos del sistema, nivel de resolución, configuración inicial del equipo, condiciones de operación normal y otros supuestos.

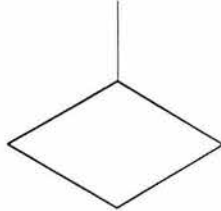


1.5.2.3. Simbología para hacer el árbol de fallas ^(2, 3 y 4)

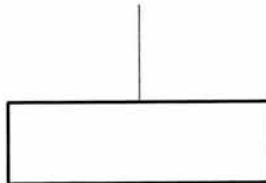
Evento primario. Suceso básico que no requiere posterior desarrollo.



Evento no desarrollado. Un suceso que no se desarrolla porque sus consecuencias son despreciables o porque no hay información suficiente.



Evento intermedio. Un suceso de falla que ocurre porque una o más causas anteriores ocurren a través de unas puertas lógicas.





Puertas lógicas.

Puerta "Y". El suceso de falla de salida ocurre si todas las entradas se producen.



Puerta "O". El suceso de falla de salida ocurre si al menos una de las entradas se produce.



1.5.2.4. Procedimiento para hacer el árbol de fallas

La construcción del árbol de fallas comienza con el evento culminante que ocupa la parte superior de la estructura lógica y es representado con un rectángulo. Después se sigue con los niveles posteriores donde se colocan en rectángulos los eventos intermedios para continuar con la descomposición en sucesos primarios o causas raíz, en los cuales ya no puede haber un desarrollo adicional. Para cada evento intermedio, las causas por las que sucede son determinadas por medio de una puerta lógica apropiada (O e Y, suma y producto de eventos respectivamente), esto significa que si varias causas deben pasar para que se de el evento se usa una compuerta "Y" y si sólo es necesario que pase una de estas varias causas para que se de el evento se usa una compuerta "O". Las causas raíz incluyen fallas en el equipo y errores humanos.

En ocasiones se llega a sucesos en donde los cuales por falta de información o porque no se considera necesario no se continúan desarrollando, éstos se representan con un rombo y se conocen como evento no desarrollado.



1.5.2.5. Enfoque cuantitativo del árbol de fallas: frecuencia y probabilidad

El AAF permite la cuantificación de la probabilidad y la frecuencia con que se puede producir un evento culminante. Si se realiza un análisis cuantitativo se asignan probabilidades a las causas raíz y a los eventos no desarrollados en base a la experiencia del analista, y por medio de las puertas lógicas se calcula la probabilidad de los eventos intermedios y la del evento culminante para conocer la frecuencia del mismo. Si se realiza un análisis cualitativo se genera una lista en donde se indican las combinaciones de fallas que pueden provocar dicho evento.

El criterio para asignar probabilidad a los eventos básicos en función de la frecuencia en un árbol de fallas, es el siguiente:

Tabla 1.11. Criterio de probabilidad en función de la frecuencia. ⁽⁶⁾

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

Para el cálculo de la frecuencia de ocurrencia se utiliza la siguiente fórmula en función de la probabilidad y el tiempo de estudio requerido:

$$f = \frac{-\ln (1-P)}{t}$$

Donde:

f = frecuencia = eventos/año

P = probabilidad

t = tiempo de estudio = años



1.5.2.6. Documentación necesaria

Para el análisis se requiere de: los DTI's, especificaciones de los equipos, procedimientos de operación, formas de falla, base de datos de la probabilidad de las formas de falla, además de la realización de entrevistas con el personal competente que pueda enriquecer el conocimiento acerca de un equipo en particular.

1.5.2.7. Ámbito de aplicación ⁽¹⁾

El análisis de árbol de fallas puede ser utilizado durante el diseño, modificación, operación, mantenimiento de instalaciones o investigación de incidentes. Además esta herramienta puede ser de gran utilidad en el análisis de procesos nuevos en los cuales no existen antecedentes, mas existe una base de datos confiables de otras instalaciones similares.



1.5.3. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS ^(5 y 15)

1.5.3.1. Definición

Este análisis busca determinar la magnitud de los daños de un accidente, utilizando modelos matemáticos para obtener características probables de los efectos hacia el personal, medio ambiente e instalación, comunicando dichos efectos en planos de la instalación y alrededores mediante el uso de radios de afectación los cuales muestran las zonas donde existe un alto riesgo.

1.5.3.2. Método

El análisis de consecuencias se apoya en modelos matemáticos para poder predecir los efectos de los accidentes.

A continuación se mencionan algunos modelos:

a) Modelos de término de la fuente. Estos incluyen caracterizaciones de liberaciones reales o potenciales de materiales tóxicos y/o inflamables y la estimación de la tasa de emisión, composición, fase, temperatura, presión y duración de ésta. En estos modelos se consideran escenarios para eventos como líquidos y flujo de vapor/líquido, vapor confinado y no confinado, dispositivos de alivio de presión, fugas en reactores y tuberías, rompimiento de tubería, formación de aerosoles y rupturas catastróficas de recipientes.

b) Modelos de emisión de líquidos del depósito. Estos modelos se usan para conocer las características de evaporación, vaporización y dispersión de materiales de derrames encharcados, tomando en cuenta los factores que afectan a estos cambios físicos.

c) Modelos de dispersión de vapor. Se usan en escenarios donde hay liberaciones de gases a la atmósfera y mezclas de vapor-líquido. Se hace una clasificación de las liberaciones en términos de la diferencia entre la densidad del material liberado y la atmósfera. Se incluyen consideraciones acerca de factores que influyen en la dispersión del material tal como el viento y otros más.

d) Modelos de fuego y explosión. Los modelos de fuego tratan de liberaciones de materiales inflamables por sobrepresión y sus efectos por radiación térmica en fuegos en charcos, llamaradas de fuego, fuegos de rayo y bolas de fuego. Los modelos de explosión



trabajan explosiones completamente o parcialmente encerradas en recipientes de proceso, tuberías y edificios, además de explosiones no confinadas provocadas por la ignición de una nube de vapor inflamable.

e) Modelos de efecto. Utilizan los resultados de incidentes específicos para proporcionar estimados de efectos tóxicos, ambientales, estructurales y económicos. Se han desarrollado modelos específicos para efectos de explosión en propiedades y personas, efectos de radiación térmica y efectos tóxicos.

Estos modelos generan escenarios accidentales a los que se les asocia un fenómeno de tipo físico o químico.

1.5.3.3. Fenómenos asociados a escenarios accidentales ^(6 y 15)

Los accidentes que pueden ocurrir en instalaciones industriales se deben a fugas, vertidos incontrolados, explosiones e incendios. Estos incidentes ocurren aisladamente, simultáneamente o secuencialmente.

En estos escenarios existen fenómenos peligrosos asociados a los mismos y se muestran a continuación.

Tabla 1.12. Fenómenos peligrosos.

| FENÓMENO | EFEECTO |
|----------|---|
| Térmico | Radiación térmica |
| Mecánico | Ondas de presión y proyección de fragmentos |
| Químico | Emisión a la atmósfera o vertido incontrolado de sustancias tóxicas |

Los fenómenos térmicos son provocados por la oxidación de sustancias combustibles, generando llama, ya sea estacionaria (incendio de charco, dardo de fuego) o progresiva (llamarada, bola de fuego), la energía de combustión se disipa por radiación ocasionando el aumento de la temperatura de la materia expuesta, que concluye en la combustión o fusión y volatilización de la misma.



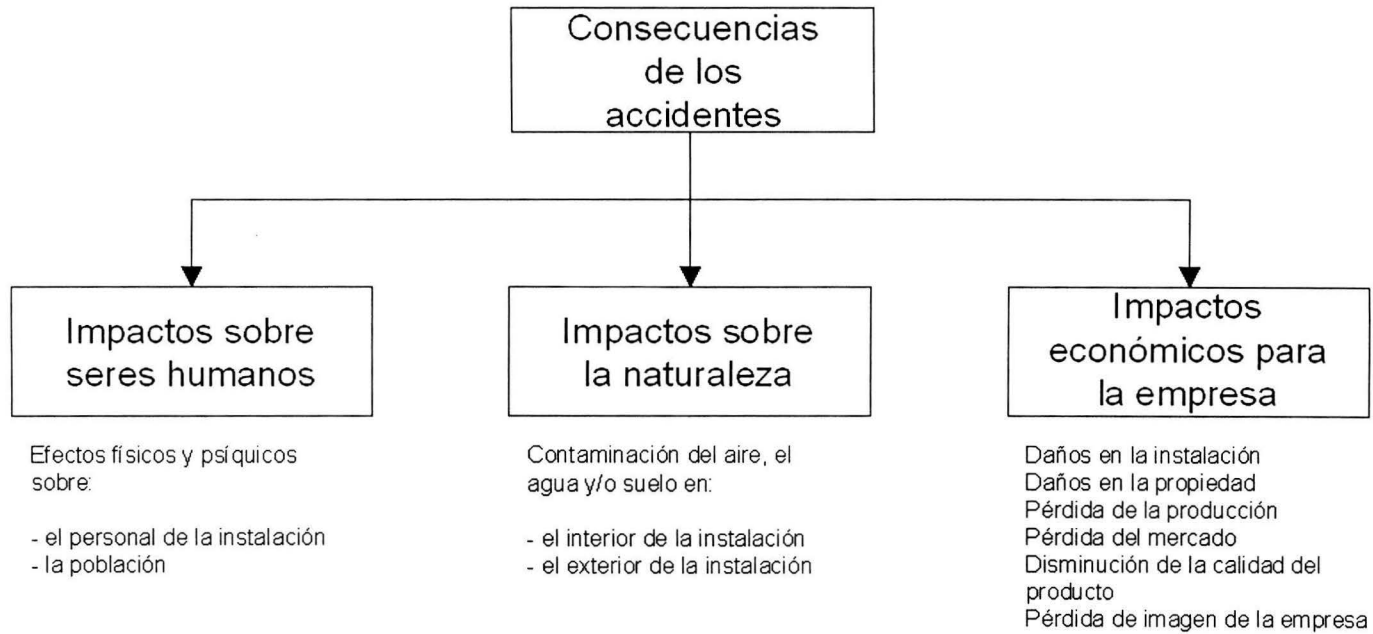
Los fenómenos mecánicos son la onda de presión y la emisión de proyectiles. El primer efecto consiste en compresiones y expansiones alternativas del aire atmosférico que afectan a los seres vivos y a los elementos inertes provocando rupturas, desplazamientos, etc.

Los fenómenos químicos están asociados a la fuga o vertidos incontrolados de sustancias tóxicas que se difunden en el medio donde se encuentren, su concentración y su efecto disminuyen con la distancia. El daño en el humano depende de la dosis recibida y del tiempo de exposición.

Al final de este capítulo se muestra las consecuencias de los accidentes.



Figura 1.5. Esquema de las consecuencias de los accidentes. ⁽⁵⁾



CAPÍTULO

II



2. DESARROLLO

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE LA UNIDAD H-OIL

2.1.1. INTRODUCCIÓN

La unidad de hidrodesintegración catalítica conocida como H-OIL fue diseñada para procesar $331 \text{ m}^3/\text{hr}$ (50,000 BPSD) de residuo de vacío, obtenido de la destilación de una mezcla de crudos 60/40 Itsmo/Maya, y producir productos gaseosos (C1-C5), nafta, queroseno, gasóleo y combustóleo de bajo contenido de azufre.

La sección de reacción consiste en dos trenes de dos reactores en paralelo de cama ebullada y cada tren está diseñado para procesar $166 \text{ m}^3/\text{hr}$ (25,000 BPSD) de alimentación de residuo. El efluente de los reactores es separado por flash en tres niveles distintos de presión. Casi todo el equipo es duplicado en cada tren excepto el sistema de absorción de amina de presión intermedia, incluyendo la unidad purificadora de hidrógeno (PSA) y otros equipos.

Los dos trenes idénticos son identificados como Sección 3100 y Sección 3200. El equipo común para ambas secciones es identificado por la serie 3150.

Los productos de la unidad H-OIL se alimentan a la unidad de fraccionamiento.

La unidad H-OIL cuenta con diferentes secciones como son: alimentación, alimentación de hidrógeno, reacción y separación líquido/vapor.

Al final de la descripción del proceso se encuentra el diagrama de flujo de la unidad H-OIL (DF-H-OIL-U-3100) y la lista de equipo (DF-H-OIL-U-3100-1).



2.1.2. SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN

La unidad tiene sistemas separados de alimentación para cada tren, con un cabezal común de descarga de alimentación de aceite para los reactores de ambos trenes.

Se cuenta con dos tanques de alimentación de aceite, designados como FA-3101 y FA-3201, uno para cada tren. La alimentación fresca a la unidad H-OIL es mezclada en cada tanque de alimentación con el gasóleo pesado de vacío de recicló y las corrientes de fondos de vacío de la unidad de fraccionamiento.

La corriente de alimentación mezclada es bombeada bajo control de flujo al primer reactor en cada tren por las bombas de alimentación de aceite GA-3103 A/B y GA-3203 A/B respectivamente. Estas cuatro bombas están conectadas a un cabezal común de descarga para facilitar la accesibilidad de cada una de estas bombas a cualquier tren. Dos bombas en operación al mismo tiempo aseguran que siempre habrá líquido fluyendo si una de ellas falla. Todas las bombas de alimentación son accionadas por turbina excepto la GA-3103 A, la cual es accionada por motor.

La alimentación es entonces dividida en dos corrientes, cada una para su respectivo tren.

La alimentación de residuo a la unidad H-OIL normalmente es suministrada caliente, a una temperatura mínima de 240°C. Sin embargo, se han hecho provisiones adicionales para aceptar la mitad de la alimentación total, esto es 165 m³/h (25,000 BPSD) de residuo frío directamente de almacenamiento. Una corriente de vapor de media presión es usada para calentar esta alimentación fría en el tanque de alimentación.

En cada tren la alimentación es calentada a 308°C por medio de los calentadores de alimentación de aceite BA-3101/3201, con una pequeña cantidad de hidrógeno inyectada a la entrada de cada paso de aceite. Después es combinada con la corriente caliente de hidrógeno proveniente del calentador de hidrógeno BA-3102/3202, antes de ser alimentada al respectivo primer reactor de cada tren. La temperatura de salida del calentador de aceite es usada para controlar la temperatura de operación de la primera etapa de reacción.

La inyección de hidrógeno en los pasos de aceite, antes de entrar a los calentadores, mejora las características de la transferencia de calor de la alimentación de aceite, reduciendo la posibilidad de depósitos de carbón en el calentador de aceite.



2.1.3. SECCIÓN DE ALIMENTACIÓN DE HIDRÓGENO

El hidrógeno de reposición, suministrado de la planta de hidrógeno, es combinado con la corriente de hidrógeno recuperado de la unidad purificadora (PSA) y esta nueva corriente es comprimida en los compresores de hidrógeno de reposición GB-3101/3151/3201. Cada compresor maneja el 50% de la capacidad requerida; normalmente operan dos en paralelo y el tercero es el relevo en común.

En cada tren la corriente de hidrógeno de reposición es combinada con la corriente de hidrógeno reciclado proveniente del compresor de hidrógeno de reciclo GB-3102/3202.

Una porción de esta corriente de hidrógeno de reciclo es usada como enfriamiento entre la primera y segunda etapa de reacción para controlar la temperatura de operación del segundo reactor de cada tren.

La corriente combinada de hidrógeno rico es precalentada por intercambio con el vapor caliente efluente del reactor y después calentada hasta 538°C por el calentador de hidrógeno BA-3102/3202 antes de mezclarse con la alimentación de aceite como se mencionó anteriormente.

Tener disponible hidrógeno caliente, a una temperatura significativamente más alta que la temperatura normal de operación del reactor, simplifica el arranque de éste.

2.1.4. SECCIÓN DE REACCIÓN

En el reactor DC-3101 de la primera etapa se llevan a cabo: hidrodesintegración, desulfuración y algo de denitrogenación. La temperatura de operación del reactor es controlada ajustando la temperatura de su alimentación en el calentador de aceite BA-3101, para lograr el grado de conversión deseado en el reactor.

Los reactores de H-OIL son de fase líquida, fluidizados de retromezclado continuo, que operan prácticamente en condiciones isotérmicas. Cada reactor emplea un sistema de cama ebulada, el cual distribuye líquido, gas y catalizador uniformemente a través del reactor, manteniendo suspendidas las partículas de catalizador en movimiento aleatorio. La cama ebulada asegura la operación isotérmica del reactor aun con las reacciones altamente exotérmicas involucradas.



Cada reactor está provisto con una bomba ebuladora, localizada externamente, para mantener la circulación de líquido dentro del reactor. Esta circulación del líquido es lo que mantiene al reactor en condiciones isotérmicas.

Si la alimentación de líquido al reactor se pierde, el líquido dentro del reactor continuará evaporándose y el nivel del reactor descenderá, causando eventualmente que la bomba ebuladora pierda succión.

La pérdida de succión en la bomba ebuladora causa que la cama de catalizador se sedimente y la operación del reactor se asemeje a la de un reactor de cama fija.

Un rasgo importante del proceso H-OIL es la capacidad para agregar y retirar catalizador del sistema mientras la unidad está en funcionamiento. La cantidad de catalizador en el reactor es mantenida en el nivel deseado ajustando la velocidad de adición igual a la velocidad de retiro, tomando en cuenta algunas pérdidas.

2.1.5. SECCIÓN DE SEPARACIÓN VAPOR/LÍQUIDO

El efluente caliente del domo del reactor de la segunda etapa es separado en sus fases líquido y vapor en el tanque flash de efluente del reactor FA-3102/3202. Los vapores que salen de este tanque flash, después de enfriarse y condensarse a 274°C por los intercambiadores EA-3101/3201 y EA-3102/3202, son también separados en sus fases líquido y vapor en los separadores calientes de alta presión FA-3103/3203. El vapor que viene del separador es lavado con agua para disolver cualquier sal de sulfuro de amonio o cloruro de amonio que se pueden formar a medida que el vapor del reactor es enfriado. La mezcla vapor/agua es enfriada a 54°C en el soloaire de vapor de alta presión EA-3103/3203 y sucesivamente separada en vapor, hidrocarburo líquido y agua en los separadores fríos de alta presión FA-3104/3204.

El vapor proveniente de los FA-3104/3204 es alimentado a la torre absorbadora de DEA de alta presión DA-3101/3201 para la eliminación de H₂S y CO₂. Después este vapor es comprimido por los compresores de hidrógeno de recicló GB-3102/3202.

El gas comprimido de recicló es dividido en gas de recicló y corriente de enfriamiento para el segundo reactor. La porción de recicló es combinada con todo el hidrógeno de reposición y enviado a intercambio de calor en los EA-3101/3201 y EA-3102/3202 con el



vapor caliente de alta presión proveniente de los FA-3102/3202. Después es alimentado al calentador de hidrógeno para así completar el circuito de gas de alta presión en cada tren.

Una pequeña porción del vapor separado que entra en la absorbidora de DEA de alta presión DA-3101/3201 es retirado como un gas de purga de alta presión para controlar la pureza de hidrógeno del gas de reciclo. El gas de purga de ambos trenes es enviado a tratamiento con amina a la torre absorbidora de DEA de presión intermedia DA-3151.

La corriente de líquido caliente de alta presión de FA-3102/3202 es adiabáticamente reducida de presión al nivel medio al pasar por las válvulas reductoras de presión y posteriormente esta corriente es enfriada a 393°C por contacto directo con el líquido enfriado proveniente del separador caliente de alta presión FA-3103/3203.

Al enfriar el líquido efluente del reactor se reduce la posibilidad de formación de carbón por cracking térmico a temperaturas elevadas.

La corriente enfriada es separada en líquido y vapor en los separadores calientes de presión intermedia FA-3105/3205.

El hidrógeno disuelto y los gases ligeros provenientes de FA-3105/3205 son enfriados en los intercambiadores EA-3104/3204 y los condensadores EA-3105/3205.

Corriente arriba de EA-3105/3205 se inyecta agua de lavado para disolver cualquier sulfuro de amonio que pueda precipitar cuando esta corriente se enfría a 43°C. Las fases del vapor resultante, hidrocarburo líquido y agua son separadas en los separadores fríos de presión intermedia FA-3106/3206.

Estos tanques son usados también para separar los vapores, hidrocarburo líquido y agua resultantes del flash en los separadores fríos de alta presión FA-3104/3204.

El vapor de hidrógeno rico del FA-3106/3206 es enviado al tanque flash de presión intermedia con DEA enriquecida FA-3151, acompañado por el gas de purga de alta presión de ambos trenes. El vapor combinado es lavado con amina para remover el H₂S en la torre absorbidora de DEA de presión intermedia DA-3151. La solución rica de DEA es enviada a la unidad de regeneración de amina. Por el domo de la torre el gas es enviado a la unidad PSA de purificación de hidrógeno (SE-3151) para recuperar y reciclar el hidrógeno hacia los compresores de hidrógeno de reposición.



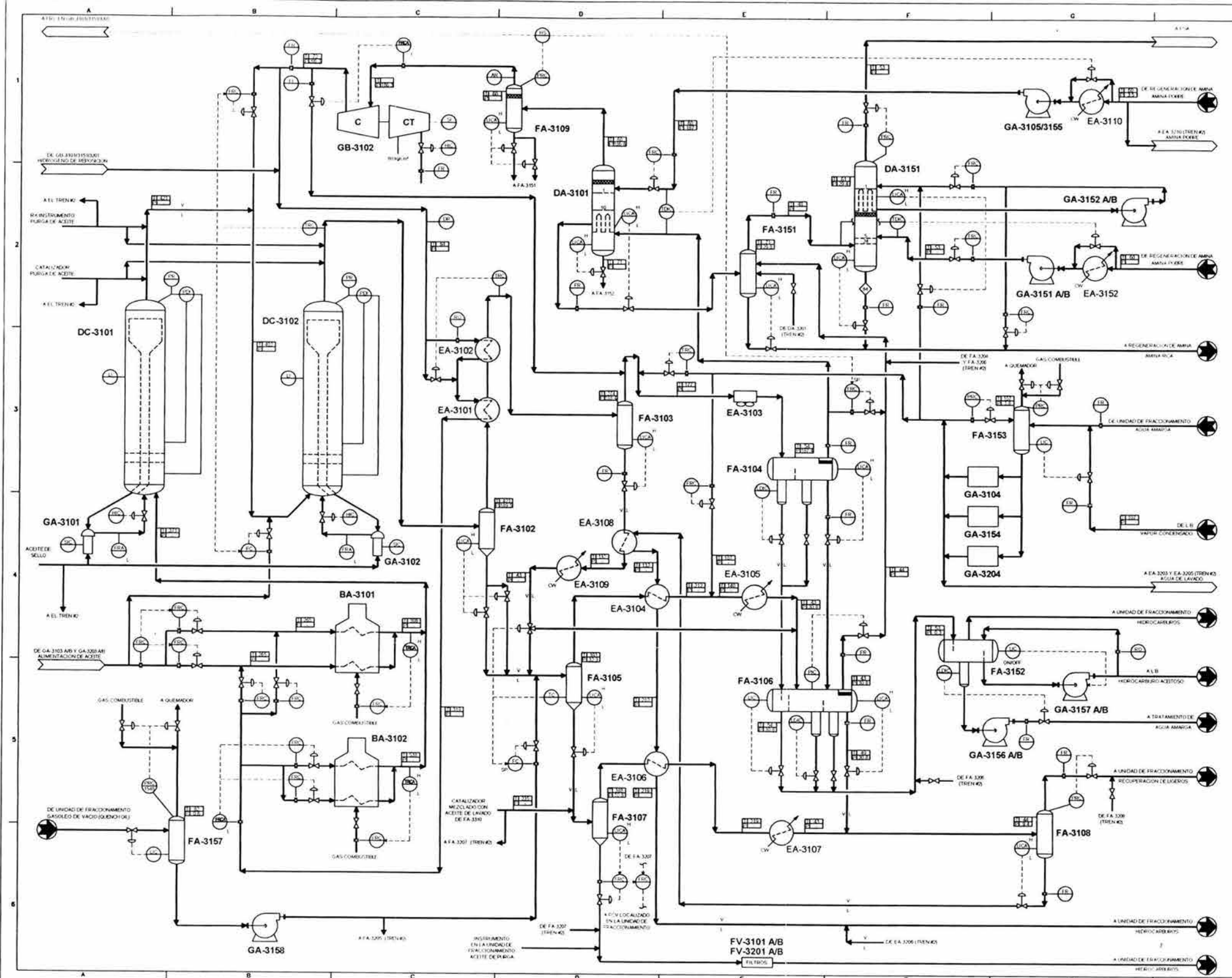
Las corrientes combinadas de agua amarga de ambos trenes, que salen de los separadores fríos de presión intermedia FA-3106/3206, son enviadas al tanque de separación de agua amarga FA-3152, donde una pequeña cantidad del gas disuelto es purgado. El vapor separado es enviado a la unidad de fraccionamiento para posterior tratamiento. El agua amarga es bombeada por la GA-3156 A/B a la unidad de tratamiento de aguas amargas para un agotamiento previo a su deshecho. Cualquier hidrocarburo líquido separado es bombeado por la GA-3157 A/B a los tanques de derrame.

El líquido de los separadores calientes de presión intermedia FA-3105/3205 es enviado a los separadores calientes de baja presión FA-3107/3207, donde cantidades adicionales de hidrógeno y gases ligeros son eliminadas. La presión en FA-3107/3207 es establecida por los requerimientos de presión necesaria para enviar al líquido a la unidad de fraccionamiento a través de los filtros de alimentación a la fraccionadora FV-3101 A/B. Este líquido constituye la mayor parte de la alimentación a fraccionamiento.

El aceite de lavado mezclado que es obtenido en la unidad de manejo de catalizador de cada tren es bombeado intermitentemente a los separadores de baja presión FA-3107/3207.

El vapor de los FA-3107/3207 es usado para precalentar la alimentación fría a fraccionamiento en los intercambiadores EA-3106/3206 y después esta corriente se enfría a 43°C en los condensadores EA-3107/3207. Las corrientes resultantes de vapor son combinadas con el hidrocarburo líquido de presión intermedia proveniente de FA-3106/3206 y esta corriente se envía a los separadores fríos de baja presión FA-3108/3208.

Los vapores de estos tanques FA-3108/3208 son combinados y enviados a la unidad de fraccionamiento para limpieza del gas combustible, mientras que el líquido es precalentado en cada tren por intercambio con el líquido caliente de alta presión y las corrientes de vapor de presión intermedia y baja. Posteriormente a este precalentamiento se envía directamente a la unidad de fraccionamiento como una sola corriente de alimentación.



NOTAS
 CUALQUIER CAMBIO DEBE SER REGISTRADO EN EL LIBRO DE CAMBIOS

NOTAS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA (FES Zaragoza)
2014-2015

| EQUIPO | DESCRIPCION |
|--------------------|---|
| BA-3101 | CALENTADOR DE ALIMENTACION DE ACEITE |
| BA-3102 | CALENTADOR DE HIDROGENO |
| DC-3101 | REACTOR DE LA PRIMERA ETAPA |
| DC-3102 | REACTOR DE LA SEGUNDA ETAPA |
| GA-3101 | BOMBA DEL REACTOR PRIMERA ETAPA |
| GA-3102 | BOMBA DEL REACTOR SEGUNDA ETAPA |
| FA-3102 | TANQUE FLASH DEL EFLUENTE DEL REACTOR |
| EA-3101 EA-3102 | INTERCAMBIADORES DE HIDROGENO/VAPOR DE ALTA PRESION |
| FA-3103 | SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION |
| EA-3103 | SOLOAIRE DE VAPOR DE ALTA PRESION |
| FA-3104 | SEPARADOR FRIO DE ALTA PRESION |
| DA-3101 | TORRE ABSORBEDORA DE DEA DE ALTA PRESION |
| GA-3105/3155 | BOMBA DE AMINA DE ALTA PRESION |
| EA-3110 | CONDENSADOR DE AMINA DE ALTA PRESION |
| FA-3109 | SEPARADOR K.O. DEL COMPRESOR DE HIDROGENO DE RECICLO |
| GB-3102 | COMPRESOR DE HIDROGENO DE RECICLO |
| EA-3108 | INTERCAMBIADOR DE LIQUIDO DE ALTA PRESION/ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |
| EA-3109 A/B | CONDENSADOR DE LIQUIDO DE ALTA PRESION |
| FA-3105 | SEPARADOR CALIENTE DE PRESION INTERMEDIA |
| EA-3104 | INTERCAMBIADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA/ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |
| EA-3105 | CONDENSADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA |
| FA-3106 | SEPARADOR FRIO DE PRESION INTERMEDIA |
| FA-3151 | TANQUE FLASH DE PRESION INTERMEDIA CON DEA ENRIQUECIDA |
| DA-3151 | TORRE ABSORBEDORA DE DEA DE PRESION INTERMEDIA |
| GA-3151 A/B | BOMBA DE AMINA POBRE |
| EA-3152 | CONDENSADOR DE AMINA POBRE |
| GA-3152 A/B | BOMBA DE AGUA DE LAVADO |
| FA-3107 | SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION |
| EA-3106 | INTERCAMBIADOR DE VAPOR DE BAJA PRESION/ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |
| EA-3107 | CONDENSADOR DE VAPOR DE BAJA PRESION |
| FA-3108 | SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION |
| FV-3101 A/B | FILTRO DE ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |
| FA-3152 | TANQUE DE SEPARACION DE AGUA AMARGA |
| GA-3157 A/B | BOMBA DE HIDROCARBURO ACEITOSO |
| GA-3156 A/B | BOMBA DE AGUA AMARGA |
| FA-3153 | TANQUE DE AGUA DE LAVADO |
| GA-3104/3154/3204 | BOMBA DE AGUA AMARGA |
| FA-3157 | TANQUE DE ACEITE DE ENFRIAMIENTO |
| GA-3158 | BOMBA DE ACEITE DE ENFRIAMIENTO |

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM)
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA (FES Zaragoza)

FECHA DE REVISIÓN

LISTA DE EQUIPO
UNIDAD H-OIL U-3100

FECHA DE REVISIÓN MAYO 2004

FECHA DE REVISIÓN DF-H-OIL-U-3100-1

0



2.2. ANÁLISIS HAZOP

Se escogió el HAZOP como método para identificar los peligros y jerarquizar los riesgos del circuito de presión intermedia de la unidad H-OIL, ya que es un método que identifica desviaciones de la operación normal, sus causas y consecuencias, protecciones del sistema, y evalúa cualitativamente el grado de riesgo. Aplica en la fase de operación de una planta y requiere de un grupo multidisciplinario el cual puede generar gran cantidad de ideas útiles para el estudio. La misma metodología guía al facilitador y al personal de la planta para realizar el estudio.

2.2.1. FUNDAMENTO

En el circuito de presión intermedia existe el riesgo de que halla sobrepresiones en el equipo de separación que lo integra, debido a la interacción con el circuito de alta presión, a fallas en la transmisión de la medición de alguna variable y en el control de la misma ya sea con una falsa señal del controlador o fallas en la válvula de control. Un evento similar ocurrió en la refinería de Tampico Madero, por lo cual se dio énfasis en hacer estudios de riesgos en sistemas en donde interactuaran presiones de magnitudes diferentes como en el caso de la planta H-OIL.

2.2.2. EQUIPO DEL CIRCUITO DE PRESIÓN INTERMEDIA

El circuito de presión intermedia está integrado por los siguientes equipos:

Tabla 2.1. Equipo del circuito de presión intermedia.

| Equipo | Descripción | DTI |
|---------|---|--------------|
| FA-3105 | Separador caliente de presión intermedia | U-3100-04132 |
| EA-3104 | Intercambiador de vapor de presión intermedia/alimentación a la fraccionadora | U-3100-04133 |
| EA3105 | Condensador de vapor de presión intermedia | U-3100-04133 |



Tabla 2.1. Equipo del circuito de presión intermedia (continuación).

| Equipo | Descripción | DTI |
|---------|--|--------------|
| FA-3106 | Separador frío de presión intermedia | U-3100-04134 |
| FA-3151 | Tanque flash de presión intermedia con DEA enriquecida | U-3100-04139 |
| DA-3151 | Torre absorbadora de DEA de presión intermedia | U-3100-04158 |

2.2.3. NODOS

Para la Unidad 3100 los escenarios considerados en el estudio HAZOP y el número del diagrama (DTI's) son los siguientes:

Tabla 2.2. Nodos para el estudio HAZOP.

| Número de escenario | Nodos | Número de DTI |
|---------------------|--|---------------|
| 1 | Tanque separador caliente de presión intermedia FA-3105. | U-3100-04132 |
| 2 | Tanque separador frío de presión intermedia FA-3106. | U-3100-04134 |
| 3 | Torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151. | U-3100-04158 |

Las actas que muestran los resultados que se obtuvieron en las sesiones HAZOP se encuentran en el apéndice A.

Los DTI's presentados muestran las protecciones que se mencionan en las hojas de registro del HAZOP, éstos se encuentran en el apéndice B.



2.3. ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

El análisis de árbol de fallas se escogió para evaluar la probabilidad de un evento culminante por ser un método con el cual se puede conocer las causas que pueden provocar dicho evento.

2.3.1. FUNDAMENTO

En la planta H-OIL existen las bombas de agua amarga las cuales, a criterio de los ingenieros de la planta, son un equipo que presenta fallas mecánicas continuamente, esto repercute en cambios en el flujo de agua, más tiempo empleado en el mantenimiento de las mismas, gastos mayores en piezas de refacción y en el caso de fuga daños al personal que se encuentre realizando sus labores diarias cerca de este equipo; provocando en ellos intoxicaciones por vía respiratoria e ingestión y quemaduras al contacto con la piel.

2.3.2. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

El escenario fue:

Falla mecánica de la Bomba de Agua Amarga GA-3104/3154/3204.

Se puede producir una fuga de agua amarga por falla mecánica en los empaques y accesorios de las bombas GA-3104/3154/3204.

2.3.3. DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS

El diagrama de árbol de fallas se construye primero considerando todas las posibles causas que provocan el evento culminante, después se asignan las probabilidades para cada causa raíz (básica) y evento no desarrollado continuando con el cálculo de la probabilidad del evento culminante.



2.3.4. LISTA DE FALLAS QUE PUEDEN PROVOCAR LA FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS

- Fuga por empaques
- Falla de los asientos de las válvulas de succión y descarga por bajo flujo
- Mala selección del equipo
- Aflojamiento mecánico del acoplamiento con caja de transmisión
- Daños estructurales en la viela

2.3.5. CÁLCULO DE LA PROBABILIDAD Y FRECUENCIA DEL EVENTO CULMINANTE

Tabla 2.3. Asignación de letras.

| Suceso | Letra |
|-----------------|-------|
| Básico | A |
| No desarrollado | B |
| Intermedio | C |

La numeración se lleva a cabo de abajo para arriba y de izquierda a derecha empezando por el número 10.

Nota: la asignación de letras y el criterio de enumeración son arbitrarios, y sólo es un recurso para la demostración del cálculo de la probabilidad del evento culminante.

En este caso todas las puertas lógicas son “O” por lo tanto todas las probabilidades asignadas de cada suceso debajo de la puerta se suman, comenzando por los sucesos inferiores hasta llegar al evento culminante.

A continuación se muestra el desarrollo del cálculo para la falla “fuga por empaques”.

$$A18 + A19 = C14$$



$$A20 + A21 = C15$$

$$A22 + A23 = C16$$

$$A18 + A19 = C14$$

$$A28 + C14 = C19$$

$$A29 + A30 = C20$$

$$A31 + A32 = C21$$

$$A33 + C15 + C16 = C22$$

$$B11 + C19 + C20 + C21 + C22 = C28$$

Para el cálculo de la probabilidad del evento culminante:

$$C28 + C29 + C30 + C31 + C32 = 3.24E-3$$

Entonces la frecuencia de ocurrencia del evento falla mecánica en las Bombas de Agua Amarga para un tiempo de un año es:

$$f = -\ln(1 - P)/t = -\ln(1 - 3.24E-3)/1 = 0.0032$$

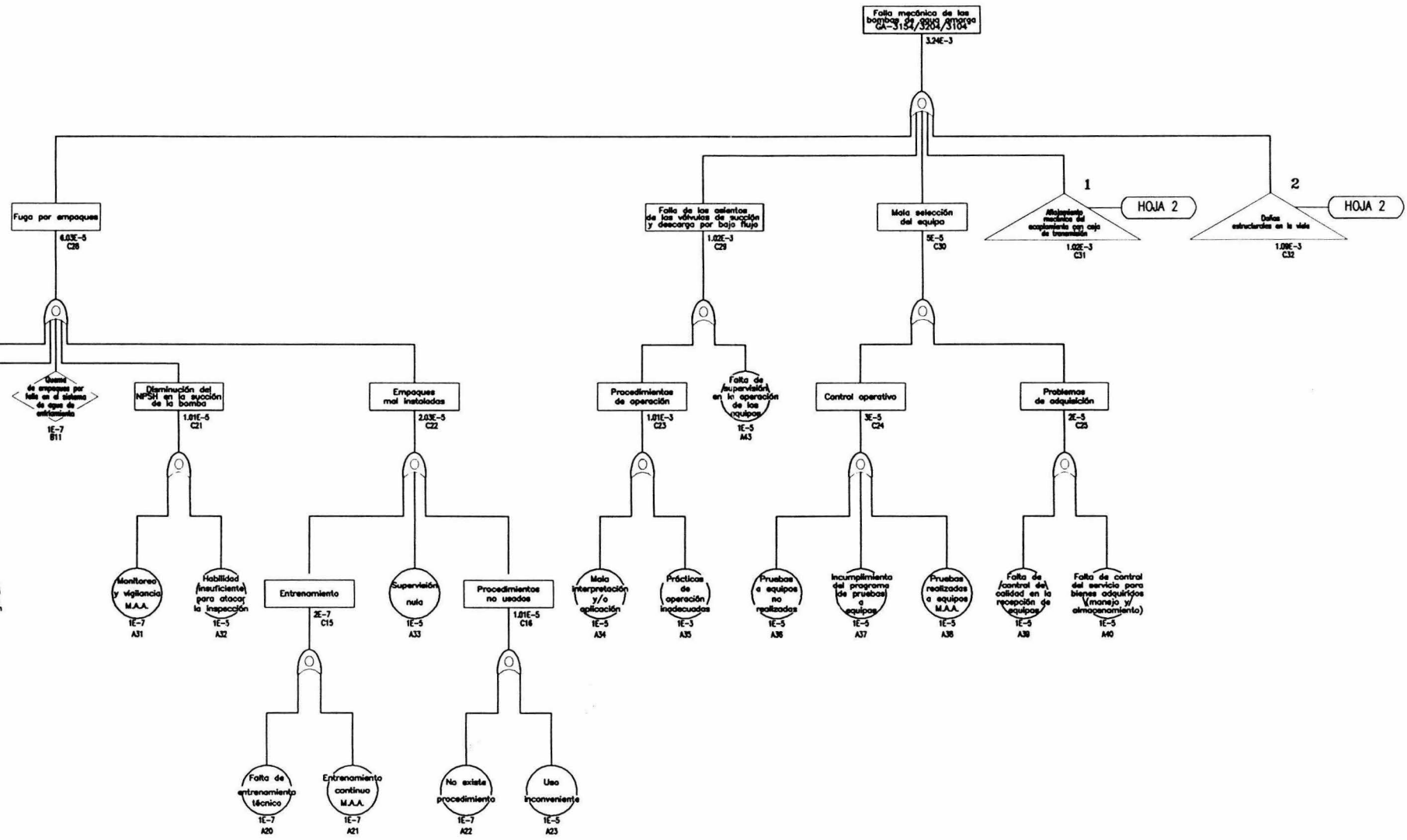
La probabilidad de que halla una fuga por empaques y accesorios debido a una falla mecánica es de 0.00324 y una frecuencia de 0.0032 fallas al año, es decir, es un suceso probable que ha ocurrido o puede ocurrir en un año.

A continuación se presenta los diagramas de árbol de fallas AF-01 y AF-02.

Diagrama de Árbol de Fallas. Falla mecánica de las bombas de agua amarga GA-3154/GA-3204/GA-3104.

| TABLA DE RESULTADOS | | |
|---|--------------|--|
| EVENTO OCURRIVIENTE | PROBABILIDAD | FRECUENCIA |
| FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS DE AGUA (MMA/3104) | 3.24 E-3 | Probablemente ocurra 3 veces al mes, varias veces al día |

NOTA:
El valor de la probabilidad del evento es el resultado de la Tabla 1.1.1, del capítulo I de la sección de análisis de árbol de fallas.



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

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

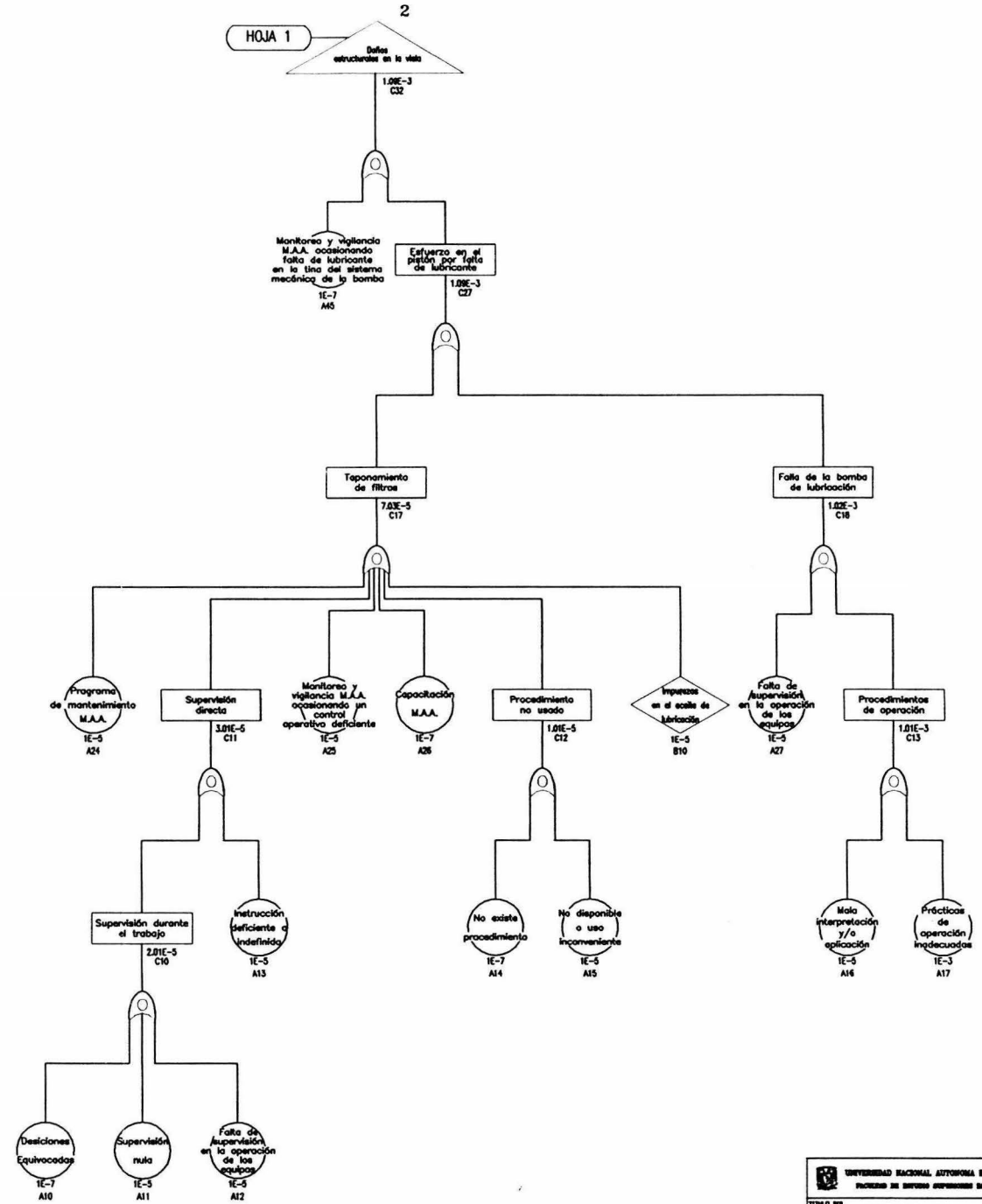
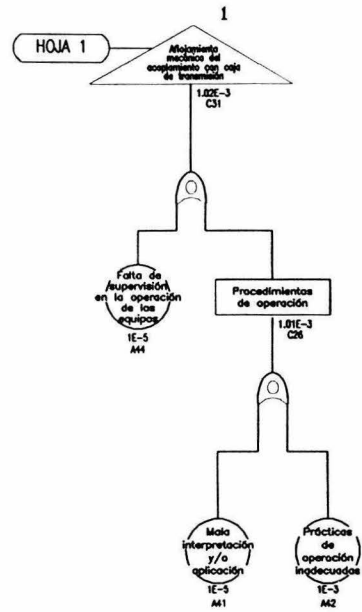
TÍTULO DEL DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS
FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS DE AGUA (MMA/3104)

SECCIÓN AF-01
PLANTA H-04

FECHA DE REVISIÓN 0
FECHA DICIEMBRE 2002

| TABLA DE RESULTADOS | | |
|--|--------------|--|
| EVENTO CULMINANTE | PROBABILIDAD | FRECUENCIA |
| FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS DE AGUA ANARA 04-3154/3504/3104 | 1.3E-3 | Probable los eventos a partir de cuando se verán afectadas las varias partes de ella |

NOTA:
El valor de la probabilidad del evento adelantado en este árbol está en el Tablo 1.11, del capítulo 1 de la sección de análisis de árbol de fallas



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

| | |
|---|--------------------------|
| | |
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO PROCESO DE SERVICIO OPERACIONES BÁSICAS | |
| TÍTULO DEL DIAGRAMA DE ÁRBOL DE FALLAS FALLA MECÁNICA DE LAS BOMBAS DE AGUA ANARA 04-3154/3504/3104 | |
| SERVICIO: AF-02 | SEMESTRE DE INVENCIÓN: 0 |
| CURSO: PLANTA H-OIL | FECHA: DICIEMBRE 2002 |



2.4. ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

2.4.1. FUNDAMENTO

El ácido sulfhídrico es una sustancia muy tóxica para el ser humano, debido a que puede provocarle envenenamiento agudo al contacto, el agua amarga contiene este ácido. A criterio de los ingenieros de la planta el tanque de agua amarga podría generar consecuencias muy graves dentro de la planta en el caso de que éste presentara una fuga, por lo tanto se escogió como escenario del análisis de consecuencias.

2.4.2. DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO

Tabla 2.4. Descripción del escenario de análisis de consecuencias.

| Tipo de escenario | Causa y fundamento | Modelo de efectos | Efecto |
|--|--|----------------------|--------------------------------|
| Fuga del Tanque de Separación de Agua Amarga FA-3152 | La fuga se puede presentar en las juntas de bridas, por venteos, purgas de los instrumentos, por una sobrepresión o corrosión en el tanque FA-3152 | Modelo de dispersión | Dispersión de sustancia tóxica |

Para la simulación del evento y la determinación de los radios de afectación se utilizó el software comercial especializado en análisis de riesgos y seguridad industrial PHAST (Process Hazard Analysis Software Tool) versión 6.1.



2.4.3. CONSIDERACIONES PARA LA ENTRADA DE DATOS AL PHAST

- La composición de la mezcla fue tomada de los balances de materia de la planta (los valores se muestran más adelante).
- Del diagrama de flujo de proceso se tomaron las condiciones de presión y temperatura (los valores se muestran más adelante).
- Tiempo máximo para la detección y control de la fuga de 30 minutos considerando que es el tiempo en que el personal tarda en detectar y llegar al lugar exacto de la fuga.
- Velocidad del viento promedio de la región de 2.2 m/s, con estabilidad ambiental clase E por ser las características promedio del sitio más favorables para generar eventos de riesgo.
- Temperatura ambiental media del área de 17°C y humedad relativa media anual de 75%.
- Nivel del suelo al tanque de 7 m.
- Para determinar los radios de afectación por materiales tóxicos se toma como base los criterios establecidos por el Instituto Nacional de Ecología (INE). Se indica el criterio en la siguiente tabla:

Tabla 2.5. Criterios de toxicidad.

| | TOXICIDAD (CONCENTRACIÓN) |
|-------------------------|--------------------------------------|
| Zona de alto riesgo | IDLH |
| Zona de amortiguamiento | TLV ₈ o TLV ₁₅ |

Abreviaturas:

IDLH Immediately Dangerous to Life and Health (niveles inmediatamente peligrosos para la vida o la salud). “Proporciona medidas de toxicidad aguda para gases industriales comunes. Un nivel IDLH representa una concentración aérea máxima de una sustancia a la cual un obrero varón saludable podría estar expuesto hasta por 30 minutos sin perder la vida o sufrir daños irreversibles a su sistema orgánico.” ⁽¹⁵⁾

TLV Treshold Limit Value (valores límite umbral). Los TLVs proporcionan guías sobre exposiciones de duración de 15 minutos u 8 horas.



2.4.4. ENTRADA DE DATOS PARA EL MODELO

Parámetros de operación.

Presión = 31.6 Kg/cm²y T = 54 °C

Propiedades físicas de las sustancias involucradas.

Los datos de propiedades físicas se encuentran en la librería del programa PHAST.

Tabla 2.6. Balance de masa de la corriente de estudio.

| Compuesto | Kg mol/hr | Fracción mol |
|-------------------|-----------|--------------|
| Hidrógeno | 0.59 | 0.0002 |
| Ácido sulfhídrico | 42.65 | 0.0155 |
| Amoniaco | 38.58 | 0.0140 |
| Agua | 2671.50 | 0.9702 |
| Metano | 0.13 | 0.0000 |
| Etano | 0.03 | 0.0000 |
| Propano | 0.02 | 0.0000 |

Se hace una mezcla de los siguientes compuestos:

- Hidrógeno
- Ácido sulfhídrico
- Amoniaco
- Agua

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA



Se toma como base el ácido sulfhídrico por ser el compuesto más tóxico. Los valores de sus criterios para efectos tóxicos (IDLH y TLV) se muestran a continuación:

Tabla 2.7. Valores de criterios toxicológicos para el ácido sulfhídrico.

| Criterios toxicológicos | Concentración |
|-------------------------|---------------|
| IDLH | 300 ppm |
| TLV | 10 ppm |

Fuente: <http://www.cdc.gov/niosh/homepage.html>

2.4.5. RESULTADOS OBTENIDOS POR PHAST

Tabla 2.8. Radios de afectación.

| Concentración (ppm) | Distancia (m) |
|---------------------|---------------|
| 10 | 799.105 |
| 250 | 57.2844 |

Los radios de afectación se representan en el diagrama de análisis de consecuencias AC-01 que se encuentra al final del capítulo.

El evento catastrófico es la intoxicación y envenenamiento agudo por la presencia de H_2S y amoniaco.

La concentración máxima permisible segura para el cuerpo humano de H_2S en el aire es de 10 ppm. El H_2S paraliza el nervio olfativo de tal forma que su olor característico a huevo podrido no puede ser captado a altas concentraciones. Exposiciones de 2 a 15 minutos en concentraciones entre 100 a 600 ppm pueden causar envenenamiento subagudo. Tiempos mayores de exposición provocan daños severos en el cuerpo humano. Los síntomas en el afectado son irritación y pérdida del olfato, inflamación en los ojos y en la garganta, salivación excesiva, nauseas y en exposiciones grandes puede haber edema pulmonar.



En una atmósfera con 600 a 1000 ppm de ácido sulfhídrico se presenta envenenamiento agudo, solamente es necesario un minuto de exposición. Inhalar un gas con alta concentración de H_2S provoca la pérdida de conciencia. La permanencia del afectado en la zona de envenenamiento podría llevarlo a la muerte. Los síntomas en un envenenamiento agudo son espasmos musculares, pulso bajo, respiración irregular, falta de aliento y náusea.

La concentración máxima permisible de amoníaco para una jornada de 8 horas es de 25 ppm, concentraciones mayores de amoníaco pueden causar vértigo, confusión, debilidad marcada, náuseas, vómito, dolor de cabeza y sudoración. La inhalación de altas concentraciones puede originar edema pulmonar.

RECOMENDACIONES

Y

CONCLUSIONES



RECOMENDACIONES

ANÁLISIS HAZOP

Del análisis HAZOP efectuado a las líneas y equipos del circuito de presión intermedia en la planta H-OIL, se obtuvieron una serie de recomendaciones que se presentan a continuación. Los escenarios de donde se generan estas recomendaciones se encuentran en el apéndice A en las hojas de registro de las sesiones HAZOP.

Del estudio HAZOP se generaron recomendaciones en escenarios de nivel de riesgo clase B, C y D. Para los primeros escenarios el riesgo se debe minimizar mediante los controles de ingeniería y/o administrativos en un periodo máximo de 1 año. En el caso de los escenarios de clase C es imperativo verificar que los procedimientos o controles estén en su lugar, en uso y que sean efectivos. En donde no se requiere mitigar el riesgo de forma inmediata son en los escenarios de clase D, se aceptan tal como están.

Recomendaciones resultantes del análisis HAZOP realizado en el circuito de presión intermedia de la unidad H-OIL.

| NÚM. | RECOMENDACIÓN |
|------|---|
| 1 | Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos |
| 2 | Realizar un estudio costo-beneficio para instalar agua de lavado a detectores capacitivos de nivel en el FA-3106 o cambiar a detectores de nivel de otro tipo |
| 3 | Realizar un estudio para determinar el modo de mejorar la medición de nivel en el FA-3102 evitando el ensuciamiento de las tomas de los transmisores de nivel LT-1005 A/B |



| NÚM. | RECOMENDACIÓN |
|------|---|
| 4 | Realizar un estudio para determinar el modo de mejorar la medición de nivel en el FA-3105 evitando el ensuciamiento de las tomas de los transmisores de nivel LT-1009 A/B |
| 5 | Verificar la presión del cabezal de gas de purga |
| 6 | Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas |
| 7 | Continuar con la capacitación del personal operativo |
| 8 | Mantener disponibles los directos de la válvula TV-1046 |
| 9 | Mantener la disponibilidad de los bloqueos del by-pass de los EA-3109 A/B |
| 10 | Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel |
| 11 | Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y PSV's |
| 12 | Asegurarse que las válvulas de bloqueo de las PSV's, de toda la planta H-OIL, se encuentren flejadas en posición de abierto |
| 13 | Continuar con las difusiones de simulacros operacionales |



| NÚM. | RECOMENDACIÓN |
|------|---|
| 14 | Mantener disponibles los bloqueos manuales de la FV-1082 |
| 15 | Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo mecánico y eléctrico de la GA-3151 A/B |

Entre las recomendaciones se tienen buenas prácticas de operación con un enfoque hacia el mantenimiento preventivo de instrumentos, válvulas, PSV's y mecánico y eléctrico de bombas. Otras hacia la capacitación del personal, trabajar con las tendencias de los indicadores de nivel y la difusión de simulacros operacionales.

Otras recomendaciones son hacia el cambio de diseño, mayor investigación y mejora de procedimientos de operación.

Mayor investigación en la realización de estudios costo-beneficio para cambio de diseño en detectores de nivel instalando agua de lavado, o cambiar a otro tipo, y la realización de estudios para la mejora de la medición del nivel, para evitar el ensuciamiento de tomas de transmisores.

La mejora en los procedimientos de operación se da en la verificación de la presión del gas de purga, disponibilidad de directos y bloqueos de válvulas, y válvulas de bloqueo de PSV's se encuentren flejadas en posición de abierto.

Para el correcto funcionamiento de instrumentos, válvulas y equipo se debe de realizar el mantenimiento de los mismos y por lo tanto debe de existir la capacitación y adiestramiento adecuados del personal.



ANÁLISIS DE ÁRBOL DE FALLAS

Para evitar la falla mecánica de las bombas de agua amarga GA-3154/GA-3204/GA-3104 se recomienda:

- Cambió del tipo de bombas.
- Mantener constante la presión de succión para evitar daños innecesarios al equipo mecánico.
- Mantener siempre una supervisión constante por parte de operación.
- Seleccionar el equipo más adecuado para las condiciones de operación de acuerdo a registros o plantas similares del sistema de refinerías (cambio de la bomba).

Al existir una situación en donde una bomba presenta demasiadas fallas, se puede realizar un estudio costo-beneficio, con el fin de cambiar la bomba por otra tomando en cuenta las existentes en plantas similares, con el fin de tener un antecedente y tomar una decisión adecuada.

En el caso de la obtención, colocación y puesta en marcha de una bomba nueva se implica la participación del personal para su capacitación en el manejo y mantenimiento de la misma.

Para minimizar la frecuencia de este evento se recomiendan las siguientes buenas prácticas de operación:

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



ANÁLISIS DE CONSECUENCIAS

Las siguientes recomendaciones se originan del análisis realizado.

- Continuar con la aplicación estricta de las pruebas de corrosión por parte de laboratorio.
- Operará a las condiciones normales de operación para evitar situaciones que generen posibilidad de accidentes o incidentes.
- Realizar prueba de líquidos penetrantes a las soldaduras del tanque.
- Realizar medición de espesores de acuerdo a programa establecido para dicho fin.
- En el próximo paro institucional revisar los internos del FA-3152.

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

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

Cumplir a totalidad con el programa de mantenimiento preventivo a instrumentos, equipos críticos, aspersores, líneas, válvulas, sistemas de tierras, sistema de mitigación y protecciones de toda la planta. Se debe de llevar correctamente el calendario de calibración y mantenimiento a los detectores de incendio, mezclas explosivas y tóxicas.



CONCLUSIONES

Se realizó el análisis y evaluación de riesgos en el circuito de presión intermedia de la unidad H-OIL, utilizando los métodos de análisis de riesgos HAZOP, análisis de árbol de fallas y análisis de consecuencias.

Con el estudio HAZOP se identificaron los peligros y se jerarquizaron los riesgos asociados a diferentes equipos del circuito de presión intermedia de la unidad H-OIL.

Se estudiaron las desviaciones de las condiciones normales de operación y sus efectos en personas, instalaciones, medio ambiente y operación. Se evaluó cualitativamente el grado de riesgo por medio de la frecuencia de la causa y la gravedad de las consecuencias.

Se conocieron la clase de riesgos involucrados en el circuito de presión intermedia de la unidad H-OIL, y se obtuvieron recomendaciones y buenas prácticas de operación para la disminución de estos riesgos.

Con el análisis de árbol de fallas se identificaron las causas básicas que pueden provocar una fuga por falla mecánica de las bombas de agua amarga. Se asignaron probabilidades a estas fallas y se calculó la probabilidad de que ocurra el evento culminante y así se conoció la frecuencia de éste. Se dieron una serie de recomendaciones y buenas prácticas de operación para evitar esta falla.

Se realizó el análisis de consecuencias y se conocieron los radios de afectación para el evento de fuga en el tanque de separación de agua amarga. Se dieron una serie de recomendaciones para evitar este evento.



BIBLIOGRAFÍA

1. Análisis de riesgos de procesos (ARP): Un esquema de mejora de la técnica HAZOP. Cornelio De La Cruz Guerra, Ramón García Pineda, Sonia Monroy Caudillo, Fausto De La Cruz Guerra, Julio Vazques López y Javier M. Cruz Gómez. Tecnol. Ciencia Ed. (IMIQ) Vol. 15 N° 2, 2002.
2. ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA SECCIÓN DE CARGA DE UNA PLANTA DE ISOMERIZACIÓN. Sánchez Vieyra Jesús., Tesis de Licenciatura (Ingeniero Químico)-UNAM, Facultad de Química. 2002, 155 p.
3. ANÁLISIS DE RIESGOS EN LA UNIDAD RECUPERADORA DE VAPORES DE UNA PLANTA CATALÍTICA DESINTEGRADORA DE GASOLEOS EN FASE FLUIDA. Sánchez de León, Erica, Tesis de Licenciatura (Ingeniero Químico)-UNAM, Facultad de Química, 2002, 144 p.
4. ANÁLISIS DE RIESGOS EN UNA PLANTA DE HIDRODESINTEGRACIÓN CATALÍTICA. Bazan Perkins, Victor Shamann, Tesis de Licenciatura (Ingeniero Químico)-UNAM, Facultad de Química, 2002, 122 p.
5. Análisis del riesgo en instalaciones industriales. Joaquín Casal, Helena Montiel, Eulália Planas y Juan A. Vilchez, Ed. Alfaomega, Colombia, 2001, 364 p.
6. Curso de Análisis de Riesgos y Operabilidad "HazOp". American Institute of Chemical Engineer, AIChE. (1998).
7. Diccionario de Términos de PEMEX Refinación. Autor PEMEX.
8. DOE HANDBOOK CHEMICAL PROCESS HAZARDS ANALYSIS. Editado por U.S. Department of Energy, Washington, D.C., 93 p.
9. Guía para la presentación del estudio de riesgo ambiental Nivel 2. ANÁLISIS DE RIESGO. Autor SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales).



10. GUÍA TÉCNICA: Metodología para el análisis de riesgos Visión general. Editado por Dirección General de Protección Civil, España.
11. GUÍA TÉCNICA: Métodos cualitativos para el análisis de riesgos. Editado por Dirección General de Protección Civil, España.
12. GUÍA TÉCNICA: Métodos cuantitativos para el análisis de riesgos. Editado por Dirección General de Protección Civil, España.
13. Informe 2001 de Seguridad, Salud y Medio Ambiente de Petróleos Mexicanos.
14. Manual de análisis de riesgos. Autor PEMEX p.p. 19 y 20.
15. Manual de Evaluación y Administración de Riesgos, Rao Kolluru, Steven Bartell, Robin Pitblado y Scott Stricoff, Ed. Mc Graw Hill, México, 1998.
16. PETROQUÍMICA Y SOCIEDAD. Susana Chow Pangtay. Fondo de Cultura Económica, México, 2003, 3ª ed. p.p. 32-37

APÉNDICE

A



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|--|--|---|---|---|-------|
| 1 | 1. Falla en posición de abierto de la válvula LV-1005 A/B. | 1. Enfriamiento de las corrientes a fraccionamiento. 2. Incremento de nivel en el FA-3106. 3. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106. 4. Incremento de nivel en el FA-3108. 5. Problemas de emulsificación aceite-agua en el FA-3152. | 1. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1010 en el FA-3105. 2. Alarma por alto nivel LAH-1009 A/B en el FA-3105. 3. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 4. Válvulas LV-1009 A/B. 5. Indicador de temperatura TI-1073 en la salida de la carga hacia fraccionamiento. 6. Alarma por alto nivel LAH-1014 en el FA-3106. 7. Alarma por alto nivel LAH-1031 en el FA-3108. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Realizar un estudio costo-beneficio para instalar agua de lavado a detectores capacitivos de nivel en el FA-3106 o cambiar a detectores de nivel de otro tipo. | 2 | 4 | 7 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|--|--|---|---|---|-------|
| 2 | 2. Ensuciamiento de las tomas del transmisor de nivel LT-1005 A/B. | 1. Falsa señal del transmisor de nivel LT-1005 A/B. 2. Enfriamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 3. Incremento de nivel en el FA-3106. 4. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106. 5. Incremento de nivel en el FA-3108. 6. Problemas de emulsificación aceite-agua en el FA-3152. | 1. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1010 en el FA-3105. 2. Alarma por alto nivel LAH-1009 A/B en el FA-3105. 3. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 4. Válvulas LV-1009 A/B. 5. Indicador de temperatura TI-1073 en la salida de la carga hacia fraccionamiento. 6. Alarma por alto nivel LAH-1014 en el FA-3106. 7. Alarma por alto nivel LAH-1031 en el FA-3108. | 1. Realizar un estudio costo-beneficio para instalar agua de lavado a detectores capacitivos de nivel en el FA-3106 o cambiar a detectores de nivel de otro tipo. 2. Realizar un estudio para determinar el modo de mejorar la medición de nivel en el FA-3102 evitando el ensuciamiento de las tomas de los transmisores de nivel LT-1005 A/B. | 1 | 3 | 4 | B |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|--|---|---|---|-------|
| 3 | 3. Falla en posición de cerrado de la válvula LV-1009 A/B. | 1. Bajo flujo a la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 2. Incremento de nivel en el FA-3106. 3. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106 y FA-3152. | 1. Alarma por alto nivel LAH-1014 en el FA-3106. 2. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1030 en el FA-3107. 3. Indicador controlador de nivel LIC-1028 con alarma por bajo nivel. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Realizar un estudio costo-beneficio para instalar agua de lavado a detectores capacitivos de nivel en el FA-3106 o cambiar a detectores de nivel de otro tipo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|---|--|---|---|---|-------|
| 4 | 4. Ensuciamiento de las tomas del transmisor de nivel LT-1009 A/B. | 1. Falsa señal del transmisor de nivel LT-1009 A/B. 2. Bajo flujo a la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 3. Incremento de nivel en el FA-3106. 4. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106 y FA-3152. | 1. Alarma por alto nivel LAH-1014 en el FA-3106. 2. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1030 en el FA-3107. 3. Indicador controlador de nivel LIC-1028 con alarma por bajo nivel. | 1. Realizar un estudio costo-beneficio para instalar agua de lavado a detectores capacitivos de nivel en el FA-3106 o cambiar a detectores de nivel de otro tipo. 2. Realizar un estudio para determinar el modo de mejorar la medición de nivel en el FA-3105 evitando el ensuciamiento de las tomas de los transmisores de nivel LT-1009 A/B. | 1 | 3 | 4 | B |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---------------------------------|--|---|---|---|---|---|-------|
| 5 | 5. Falla de la válvula TV-1046. | 1. Incremento o decremento de temperatura en el FA-3105. 2. Incremento de nivel en el FA-3106. 3. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106. 4. Incremento de nivel en el FA-3108. 5. Problemas de emulsificación aceite-agua en el FA-3152. | 1. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1010 en el FA-3105. 2. Alarma por alto nivel LAH-1009 A/B en el FA-3105. 3. Línea de quench a la entrada del FA-3105. 4. Indicador de temperatura TI-1073 en la salida de la carga hacia fraccionamiento. 5. Alarma por alto nivel LAH-1014 en el FA-3106. 6. Alarma por alto nivel LAH-1031 en el FA-3108. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|---|---|---|---|---|-------|
| 6 | 1. Falla en posición de cerrado de la válvula LV-1005 A/B. | 1. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 2. Incremento de nivel en el FA-3102. 3. Paro de planta. | 1. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1011 en el FA-3105. 2. Alarma por bajo nivel LAL-1009 A/B en el FA-3105. 3. Válvulas LV-1009 A/B. 4. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 5. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1006 en el FA-3102. 6. Alarma por alto nivel LAH-1005 A/B en el FA-3102. 7. Indicador de temperatura TI-1040 en la entrada del EA-3101. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. | 2 | 4 | 7 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|---|---|---|---|-------|
| | | | 8. Indicador de temperatura TI-1102 a la salida del EA-3102. | | | | | |
| 7 | 2. Ensuciamiento de las tomas del transmisor de nivel LT-1005 A/B. | 1. Falsa señal del transmisor de nivel LT-1005 A/B. 2. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 3. Incremento de nivel en el FA-3102. | 1. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1011 en el FA-3105. 2. Alarma por bajo nivel LAL-1009 A/B en el FA-3105. 3. Válvulas LV-1009 A/B. 4. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 5. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1006 en el FA-3102. 6. Alarma por alto nivel LAH-1005 A/B en el FA-3102. 7. Indicador de temperatura TI-1040 en la entrada del EA-3101. | 1. Realizar un estudio para determinar el modo de mejorar la medición de nivel en el FA-3102 evitando el ensuciamiento de las tomas de los transmisores de nivel LT-1005 A/B. | 1 | 4 | 6 | C |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|--|---|---|---|---|-------|
| | | | 8. Indicador de temperatura TI-1102 a la salida del EA-3102. | | | | | |
| 8 | 3. Falla en posición de abierto de la válvula LV-1009 A/B. | 1. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 2. Incremento de nivel en el FA-3107. 3. Incremento de la presión en el FA-3107. 4. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1011 en el FA-3105. 2. Alarma por bajo nivel LAL-1009 A/B en el FA-3105. 3. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 4. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1029 en el FA-3107. 5. Alarma por alto nivel LAH-1028 A/B en el FA-3107. 6. Válvula de seguridad PSV-1032 en el FA-3107. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: 19%

LOS: 25%

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|--|---|---|---|---|-------|
| 9 | 4. Ensuciamiento de las tomas del transmisor de nivel LT-1009 A/B. | 1. Falsa señal del transmisor de nivel LT-1009 A/B. 2. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 3. Incremento de nivel en el FA-3107. 4. Incremento de la presión en el FA-3107. 5. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1011 en el FA-3105. 2. Alarma por bajo nivel LAL-1009 A/B en el FA-3105. 3. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 4. Alarma por alto nivel (nuclear) LAH-1029 en el FA-3107. 5. Alarma por alto nivel LAH-1028 A/B en el FA-3107. 6. Válvula de seguridad PSV-1032 en el FA-3107. | 1. Verificar la presión del cabezal de gas de purga. 2. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 3 Realizar un estudio para determinar el modo de mejorar la medición de nivel en el FA-3105 evitando el ensuciamiento de las tomas de los transmisores de nivel LT-1009 A/B. | 1 | 3 | 4 | B |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 3. Alta presión en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|--|---|---|---|-------|
| 10 | 1. Variaciones en el espacio volumétrico en el FA-3105. | 1. Enfriamiento de la corriente de carga fría a fraccionamiento. 2. Arrastre de líquidos al FA-3106. 3. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106 y FA-3152. 4. Incremento de nivel en el FA-3152. 5. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1011 en el FA-3105. 2. Alarma por bajo nivel LAL-1009 A/B en el FA-3105. 3. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 4. Indicador de temperatura TI-1073 en la salida de la carga hacia fraccionamiento. 5. Indicador de temperatura TI-1051 con alarma por alta temperatura en la salida del EA-3105. 6. Alarma por alto nivel de hidrocarburo LAH-1014 en el FA-3106. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 3. Alta presión en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|---|---|---|---|-------|
| | | | <p>7. Alarma por alto nivel de agua amarga LAH-1012 en el FA-3106.</p> <p>8. Indicador controlador de presión PIC-1044.</p> | | | | | |
| 11 | 2. Pérdida de sello líquido en el FA-3102. | <p>1. Paro de la planta.</p> <p>2. Connato de incendio.</p> <p>3. Daños estructurales al sistema de presión intermedia.</p> | <p>1. Válvula de seguridad PSV-1016 A/B en el FA-3105.</p> <p>2. Válvulas LV-1005 A/B en el FA-3102.</p> <p>3. Válvulas motorizadas EBV-1029 A/B.</p> <p>4. Indicador controlador de presión PIC-1035.</p> <p>5. Sistema de paro automático (cutbacks).</p> | <p>1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas.</p> <p>2. Continuar con la capacitación del personal operativo.</p> | 3 | 2 | 6 | C |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 3. Alta presión en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|-------|---------------|--|-----------------|---|---|---|-------|
| | | | <p>6. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control.</p> <p>7. Programa de simulacros operacionales.</p> <p>8. Plan de respuesta a emergencias.</p> <p>9. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio.</p> <p>10. Monitores contra-incendio.</p> <p>11. Sistema de monitoreo de circuito cerrado.</p> | | | | | |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 4. Baja temperatura en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|---|---|---|---|-------|
| 12 | 1. Falla en posición de abierto de la válvula de 3 vías TV-1046 hacia el FA-3105. | 1. Precipitación de asfaltenos. 2. Ensuciamiento del FA-3107. 3. Ensuciamiento de los FV-3101 A/B. | 1. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 2. Directos de la válvula de 3 vías. 3. Indicador de presión diferencial PDI-1071. 4. Indicador de temperatura TI-1166 A/B a la salida de los FV-3101 A/B. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas. 2. Mantener disponibles los directos de la válvula TV-1046. | 3 | 3 | 7 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 5. Alta temperatura en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|--|---|---|---|-------|
| 13 | 1. Falla de la válvula TV-1046 con direccionamiento de flujo hacia el FA-3106. | 1. Formación de carbón en la corriente de carga caliente. 2. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 3. Incremento de nivel en el FA-3106, FA-3108 y FA-3152. 4. Ensuciamiento de los instrumentos en el FA-3106 y FA-3152. 5. Ensuciamiento del FA-3107. 6. Ensuciamiento y taponamiento de los FV-3101 A/B. | 1. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 2. Directos de la válvula de 3 vías. 3. Indicador de presión diferencial PDI-1071. 4. Indicador de temperatura TI-1166 A/B a la salida de los FV-3101 A/B. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 5. Alta temperatura en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|------------------------------|--|--|--|---|---|---|-------|
| 14 | 2. Bajo nivel en el FA-3102. | 1. Disminución del nivel en el FA-3103. 2. Formación de carbón en la corriente de carga caliente. 3. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 4. Variación de la carga hacia fraccionamiento. 5. Incremento de nivel en el FA-3106, FA-3108 y FA-3152. 6. Ensuciamiento del FA-3107. 7. Ensuciamiento y taponamiento de los FV-3101 A/B. | 1. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 2. Alarma por bajo nivel (nuclear) LAL-1007 en el FA-3102. 3. Alarma por bajo nivel LAL-1005 A/B en el FA-3102. 4. Válvulas motorizadas EBV-1029 A/B. 5. Indicador de presión diferencial PDI-1071. 6. Indicador de temperatura TI-1166 A/B a la salida de los FV-3101 A/B. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y válvulas. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 15 de Enero de 2003

Nodo: 1. Separador caliente de presión intermedia FA-3105.

Diagramas: U-3100-04132

Producto: Hidrocarburos

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 5. Alta temperatura en el separador caliente de presión intermedia FA-3105.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|---|---|---|---|-------|
| 15 | 3. Alineación total del by-pass de los EA-3109 A/B. | 1. Carga con mayor temperatura hacia la carga caliente a fraccionamiento. 2. Formación de carbón en la corriente de carga caliente. 3. Calentamiento de la corriente de carga caliente a fraccionamiento. 4. Variación de la carga hacia fraccionamiento. 5. Ensuciamiento del FA-3107. 7. Ensuciamiento y taponamiento de los FV-3101 A/B. | 1. Indicador controlador de temperatura TIC-1046. 2. Indicador de presión diferencial PDI-1071. 3. Indicador de temperatura TI-1166 A/B a la salida de los FV-3101 A/B. | 1. Mantener la disponibilidad de los bloqueos del by-pass de los EA-3109 A/B. | 1 | 4 | 6 | C |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|---|--|---|---|---|-------|
| 16 | 1. Falla en posición de abierto de la válvula LV-1014 A. | 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3106. 2. Incremento de presión en el sistema de baja presión. 3. Daños en el sistema de baja presión. 4. Connato de incendio. 5. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel de hidrocarburo LAL-1014 en el FA-3106. 2. Válvula LV-1014 B (cuenta con volante) en el FA-3106. 3. Alarmas por bajo nivel de agua LAL-1012 y LAL-1013 en el FA-3106. 4. Válvula de seguridad PSV-1034 en el FA-3108. 5. Válvula de seguridad PSV-1032 en el FA-3107. 6. Sistema de paro automático (cutbacks). | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|-------|---------------|--|-----------------|---|---|---|-------|
| | | | 7. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control. 8. Programa de simulacros operacionales. 9. Plan de respuesta a emergencias. 10. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. 11. Monitores contra-incendio. 12. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. | | | | | |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|--|---|---|---|-------|
| 17 | 2. Falsa señal del indicador controlador de nivel LIC-1014 mandando abrir la LV-1014 A. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3106. 2. Incremento de presión en el sistema de baja presión. 3. Daños en el sistema de baja presión. 4. Connato de incendio. 5. Paro de la planta. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Alarma por bajo nivel de hidrocarburo LAL-1014 en el FA-3106. 2. Válvula LV-1014 B (cuenta con volante) en el FA-3106. 3. Alarmas por bajo nivel de agua LAL-1012 y LAL-1013 en el FA-3106. 4. Válvula de seguridad PSV-1034 en el FA-3108. 5. Válvula de seguridad PSV-1032 en el FA-3107. 6. Sistema de paro automático (cutbacks). | <ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|-------|---------------|---|-----------------|---|---|---|-------|
| | | | 7. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control. 8. Programa de simulacros operacionales. 9. Plan de respuesta a emergencias. 10. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. 11. Monitores contra-incendio. 12. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. 13. LG-11003 en el FA-3106. | | | | | |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|---|--|---|---|---|-------|
| 18 | 3. Falla en posición de abierto de la válvula LV-1012 A. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3106. 2. Incremento de presión en el FA-3152. 3. Daños en el FA-3152. 4. Connato de incendio. 5. Paro de la planta. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Alarma por bajo nivel de agua LAL-1012 en el FA-3106. 2. Válvula LV-1012 B en el FA-3106. 3. Válvula de seguridad PSV-1537 en el FA-3152. 4. Sistema de paro automático (cutbacks). 5. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control. 6. Programa de simulacros operacionales. 7. Plan de respuesta a emergencias. 8. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|---|--|---|---|---|-------|
| | | | 9. Monitores contra-incendio. 10. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. | | | | | |
| 19 | 4. Falla en posición de abierto de la válvula LV-1013 A. | 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3106. 2. Incremento de presión en el FA-3152. 3. Daños en el FA-3152. 4. Connato de incendio. 5. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel de agua LAL-1013 en el FA-3106. 2. Válvula LV-1013 B en el FA-3106. 3. Válvula de seguridad PSV-1537 en el FA-3152. 4. Sistema de paro automático (cutbacks). 5. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control. 6. Programa de simulacros operacionales. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|--|---|---|---|-------|
| | | | 7. Plan de respuesta a emergencias. 8. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. 9. Monitores contra-incendio. 10. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. | | | | | |
| 20 | 5. Falsa señal del indicador controlador de nivel LIC-1012 mandando abrir la LV-1012 A. | 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3106. 2. Incremento de presión en el FA-3152. 3. Daños en el FA-3152. 4. Connato de incendio. 5. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel de agua LAL-1012 en el FA-3106. 2. Válvula LV-1012 B en el FA-3106. 3. Válvula de seguridad PSV-1537 en el FA-3152. 4. Sistema de paro automático (cutbacks). | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|-------|---------------|---|-----------------|---|---|---|-------|
| | | | 5. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control. 6. Programa de simulacros operacionales. 7. Plan de respuesta a emergencias. 8. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. 9. Monitores contra-incendio. 10. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. 11. LG-11006 en el FA-3106. | | | | | |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|--|---|---|---|-------|
| 21 | 6. Falsa señal del indicador controlador de nivel LIC-1013 mandando abrir la LV-1013 A. | 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3106. 2. Incremento de presión en el FA-3152. 3. Daños en el FA-3152. 4. Connato de incendio. 5. Paro de la planta. | 1. Alarma por bajo nivel de agua LAL-1013 en el FA-3106. 2. Válvula LV-1013 B en el FA-3106. 3. Válvula de seguridad PSV-1537 en el FA-3152. 4. Sistema de paro automático (cutbacks). 5. Se cuenta con respaldo ininterrumpible de energía eléctrica para el sistema de control. 6. Programa de simulacros operacionales. 7. Plan de respuesta a emergencias. 8. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Bajo nivel en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|-------|---------------|---|-----------------|---|---|---|-------|
| | | | 9. Monitores contra-incendio. 10. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. 11. LG-11004 en el FA-3106. | | | | | |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 22 de Enero de 2003

Nodo: 2. Separador frío de presión intermedia FA-3106.

Diagramas: U-3100-04134

Producto: Hidrocarburos y agua

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Alta presión en el separador frío de presión intermedia FA-3106.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|---|---|---|---|-------|
| 22 | 1. Pérdida de sello líquido en el FA-3102, FA-3103, FA-3104 y DA-3101. | 1. Daños en el sistema de presión intermedia. 2. Connato de incendio. 3. Paro de la planta. | 1. Válvulas PSV del sistema de presión intermedia. 2. Válvula PV-1054 en el FA-3106. 3. Sistema de paro automático (cutbacks). 4. Programa de simulacros operacionales. 5. Plan de respuesta a emergencias. 6. Programa de inspección y limpieza de aspersores contra incendio. 7. Monitores contra-incendio. 8. Sistema de monitoreo de circuito cerrado. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos y PSV's. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. 4. Asegurarse que las válvulas de bloqueo de las PSV's, de toda la planta H-OIL, se encuentren flejadas en posición de abierto. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en la torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|--|--|---|---|---|-------|
| 23 | 1. Falla en posición de cerrado de la válvula LV-1040. | 1. Incremento de presión en el sistema de presión intermedia. 2. Envío de líquidos a la purificadora de hidrógeno (PSA). 3. Paro de la unidad PSA. | 1. Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por alto nivel en la DA-3151. 2. Alarma por alto nivel de amina LAH-1039 en la DA-3151. 3. Indicador controlador de presión PIC-1094. 4. Transmisor diferencial de presión PDT-1095. 5. LG's en campo. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 2 | 3 | 6 | C |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en la torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|--|--|---|---|---|-------|
| 24 | 2. Falsa señal del indicador controlador de nivel LIC-1040. | 1. Incremento de presión en el sistema de presión intermedia. 2. Envío de líquidos a la purificadora de hidrógeno (PSA). 3. Paro de la unidad PSA. | 1. Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por alto nivel en la DA-3151. 2. Alarma por alto nivel de amina LAH-1039 en la DA-3151. 3. Indicador controlador de presión PIC-1094. 4. Transmisor diferencial de presión PDT-1095. 5. LG's en campo. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 2 | 3 | 6 | C |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en la torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|---|---|---|---|-------|
| 25 | 3. Falsa señal del indicador controlador de nivel LIC-1039 mandando abrir LV-1039. | <ol style="list-style-type: none"> Incremento de presión en el sistema de presión intermedia. Envío de líquidos a la purificadora de hidrógeno (PSA). Paro de la unidad PSA. | <ol style="list-style-type: none"> Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por alto nivel en la DA-3151. Alarma por alto nivel de amina LAH-1039 en la DA-3151. Indicador controlador de presión PIC-1094. Transmisor diferencial de presión PDT-1095. LG's en campo. | <ol style="list-style-type: none"> Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 3 | 7 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 1. Alto nivel en la torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|--|--|---|---|---|-------|
| 26 | 4. Alto nivel en el FA-3151 por el lado de hidrocarburo. | 1. Incremento de presión en el sistema de presión intermedia. 2. Envío de líquidos a la purificadora de hidrógeno (PSA). 3. Paro de la unidad PSA. | 1. Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por alto nivel en la DA-3151. 2. Alarma por alto nivel de amina LAH-1039 en la DA-3151. 3. Indicador controlador de nivel LIC-1507 con alarma por alto nivel en el FA-3151. 4. Indicador controlador de presión PIC-1094. 5. Transmisor diferencial de presión PDT-1095. 6. Protecciones por alto nivel en el FA-3106 y DA-3101. 7. LG's en campo. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en la torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|---|--|---|---|---|-------|
| 27 | 1. Falla en posición de abierto de la válvula LV-1040. | 1. Pérdida de sello líquido de la amina en la DA-3151. 2. Pérdida de presión en el sistema de presión intermedia. 3. Pérdida de amina rica a regeneración. 4. Bajo inventario de amina pobre. 5. Paro de planta. | 1. Alarma por bajo nivel de amina LAL-1040 en la DA-3151. 2. Indicador de flujo FI-1086 con alarma por alto flujo en la línea de salida de amina en la DA-3151. 3. Indicador controlador de presión PIC-1035 con alarma por baja y alta presión en el FA-3106. 4. Plan de respuesta a emergencias. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. 4. Continuar con las difusiones de simulacros operacionales. | 3 | 3 | 7 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en la torre absorbadora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|---|--|---|--|---|---|---|-------|
| 28 | 2. Falsa señal del indicador controlador de nivel LIC-1040 mandando abrir la LV-1040. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Pérdida de sello líquido de la amina en la DA-3151. 2. Pérdida de presión en el sistema de presión intermedia. 3. Pérdida de amina rica a regeneración. 4. Bajo inventario de amina pobre. 5. Paro de planta. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Alarma por bajo nivel de amina LAL-1040 en la DA-3151. 2. Indicador de flujo FI-1086 con alarma por alto flujo en la línea de salida de amina en la DA-3151. 3. Indicador controlador de presión PIC-1035 con alarma por baja y alta presión en el FA-3106. 4. Plan de respuesta a emergencias. | <ol style="list-style-type: none"> 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. 4. Continuar con las difusiones de simulacros operacionales. | 3 | 3 | 7 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en la torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|--|--|--|---|---|---|-------|
| 29 | 3. Falla en posición de cerrado de la válvula FV-1082. | 1. Deficiencia en el proceso de absorción. 2. Pérdida de amina rica a regeneración. 3. Bajo inventario de amina pobre. | 1. Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por bajo nivel en la DA-3151. 2. Directos de la válvula FV-1082. 3. LG's en campo. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. 4. Mantener disponibles los bloqueos manuales de la FV-1082. 5. Continuar con las difusiones de simulacros operacionales. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en la torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|--|---|---|---|---|---|---|-------|
| 30 | 4. Falsa señal del indicador controlador de flujo FIC-1082 mandando cerrar la FV-1082. | <ol style="list-style-type: none"> Deficiencia en el proceso de absorción. Pérdida de amina rica a regeneración. Bajo inventario de amina pobre. | <ol style="list-style-type: none"> Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por bajo nivel en la DA-3151. Directos de la válvula FV-1082. LG's en campo. | <ol style="list-style-type: none"> Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo a instrumentos. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. Continuar con la capacitación del personal operativo. Mantener disponibles los bloqueos manuales de la FV-1082. Continuar con las difusiones de simulacros operacionales. | 3 | 4 | 9 | D |



Planta: H-OIL

Circuito: De presión intermedia

Fecha: 29 de Enero de 2003

Nodo: 3. Torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

Diagramas: U-3100-04158

Producto: Hidrocarburos y DEA

LOI: N.D.

LOS: N.D.

LSI: N.D.

LSS: N.D.

Desviación: 2. Bajo nivel en la torre absorbedora de DEA de presión intermedia DA-3151.

| Esc. | Causa | Consecuencias | Protecciones | Recomendaciones | F | G | R | Clase |
|------|-----------------------------|---|--|--|---|---|---|-------|
| 31 | 5. Falla de la GA-3151 A/B. | 1. Bajo flujo hacia la DA-3151. 2. Deficiencia en el proceso de absorción. 3. Pérdida de amina rica a regeneración. 4. Bajo inventario de amina pobre. | 1. Indicador controlador de nivel LIC-1040 con alarma por bajo nivel en la DA-3151. 2. Relevo de la GA-3151. 3. LG's en campo. | 1. Continuar cumpliendo con el mantenimiento preventivo mecánico y eléctrico de la GA-3151 A/B. 2. Continuar trabajando con las tendencias de los indicadores de nivel. 3. Continuar con la capacitación del personal operativo. 4. Continuar con las difusiones de simulacros operacionales. | 3 | 4 | 9 | D |

APÉNDICE

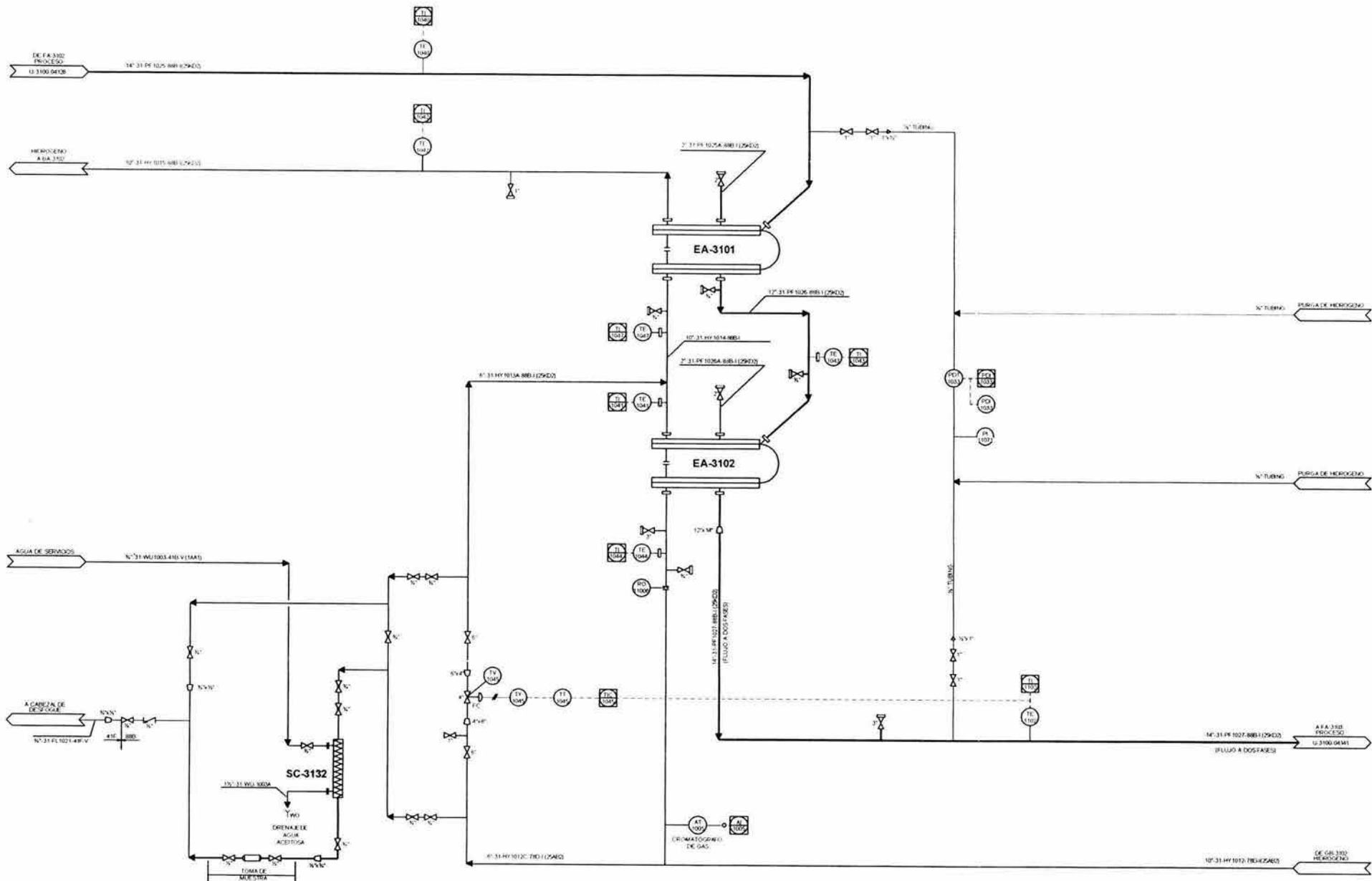
B

NOTAS

COORDINADOR DE PROYECTO: DR. CARLOS ALBERTO GARCÍA

SC-3132
ENFRIADOR SIMPLE
C.A.E. 8098
T.M.P.C.

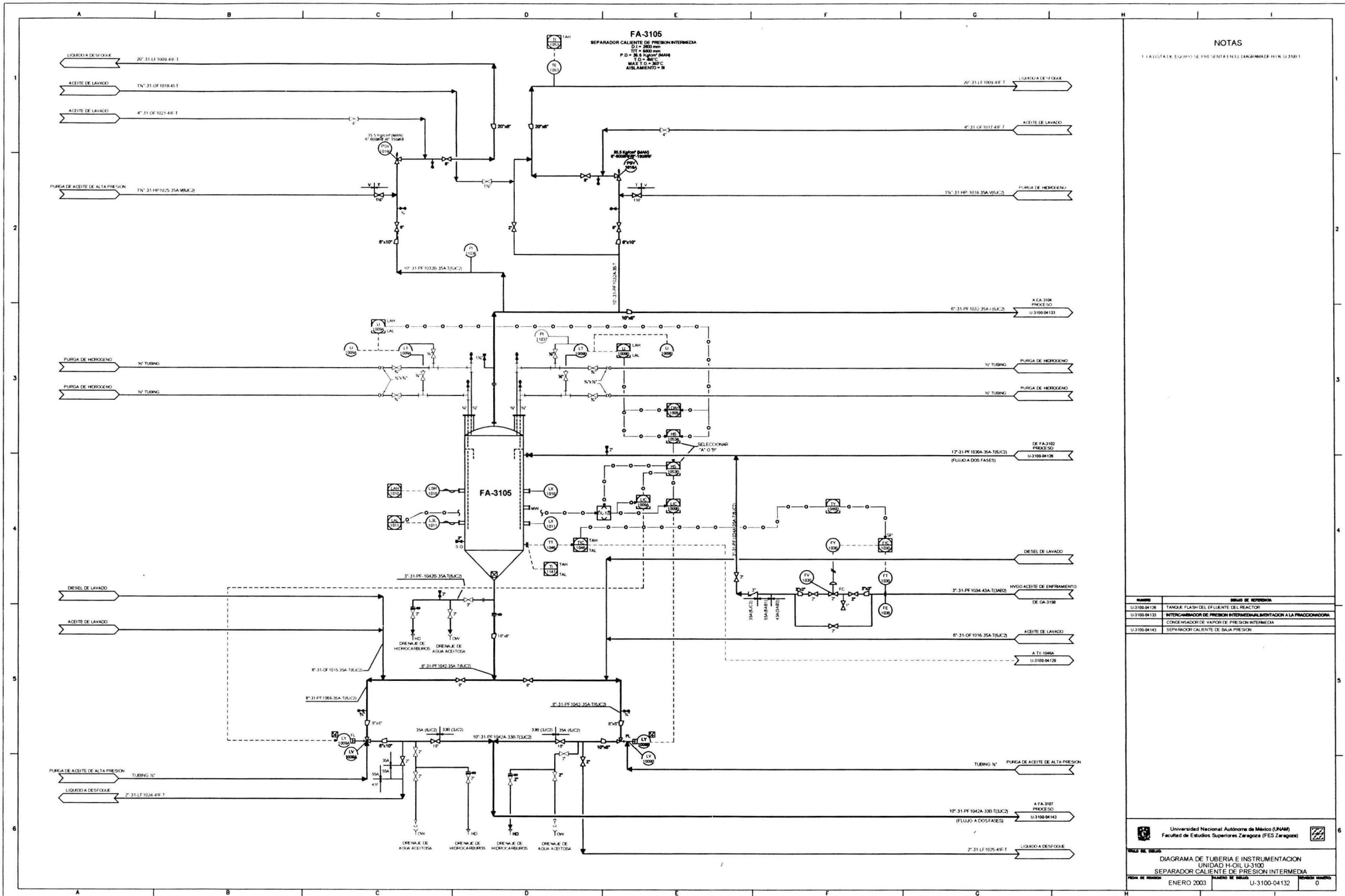
EA-3101 Y EA-3102
INTERCAMBIADORES DE HIDROGENOVAPOR DE ALTA PRESION
CAPACIDAD CALORIFICA = 133 MBHP/cm
P.O. = 10233 mmHg
T.O. = 80000°C
MAX T.O. = 271000 mmHg
AISLAMIENTO = B



| Numero | Titulo de Revision |
|--------------|--------------------------------------|
| U-3100-04120 | TANQUE FLASH DEL EFLENTE DEL REACTOR |
| U-3100-04141 | SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION |

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

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
UNIDAD H-OIL U-3100
INTERCAMBIADORES DE HIDROGENOVAPOR DE PRESION ALTA
Fecha de revisión: ENERO 2003
Número de revisión: U-3100-04129
Hoja: 0



NOTAS
1. LA LISTA DE EQUIPOS SE PRESENTA EN EL DIAGRAMA DE HORN U-3100.1

| NUMERO | TIPO DE EQUIPO |
|--------------|--|
| U-3100-04126 | TANQUE FLASH DEL EFLENTE DEL REACTOR |
| U-3100-04132 | INTERCAMBIADOR DE PRESION INTERMEDIALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |
| U-3100-04143 | CONDENSADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04143 | SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION |

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

DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 UNIDAD H-OIL U-3100
 SEPARADOR CALIENTE DE PRESION INTERMEDIA

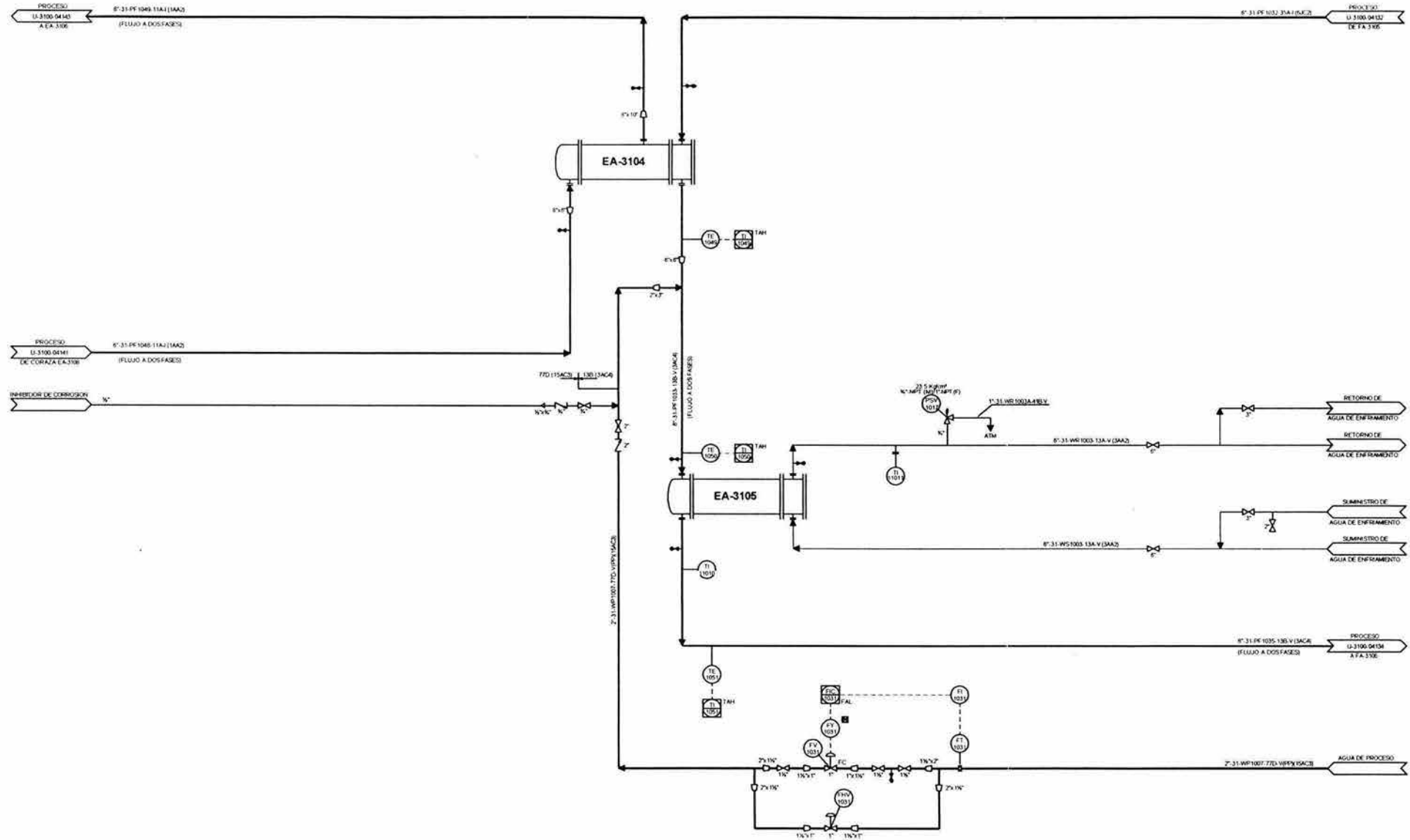
FECHA DE REVISION: ENERO 2003 AUTORES DE DISEÑO: U-3100-04132 REVISOR: 0

NOTAS

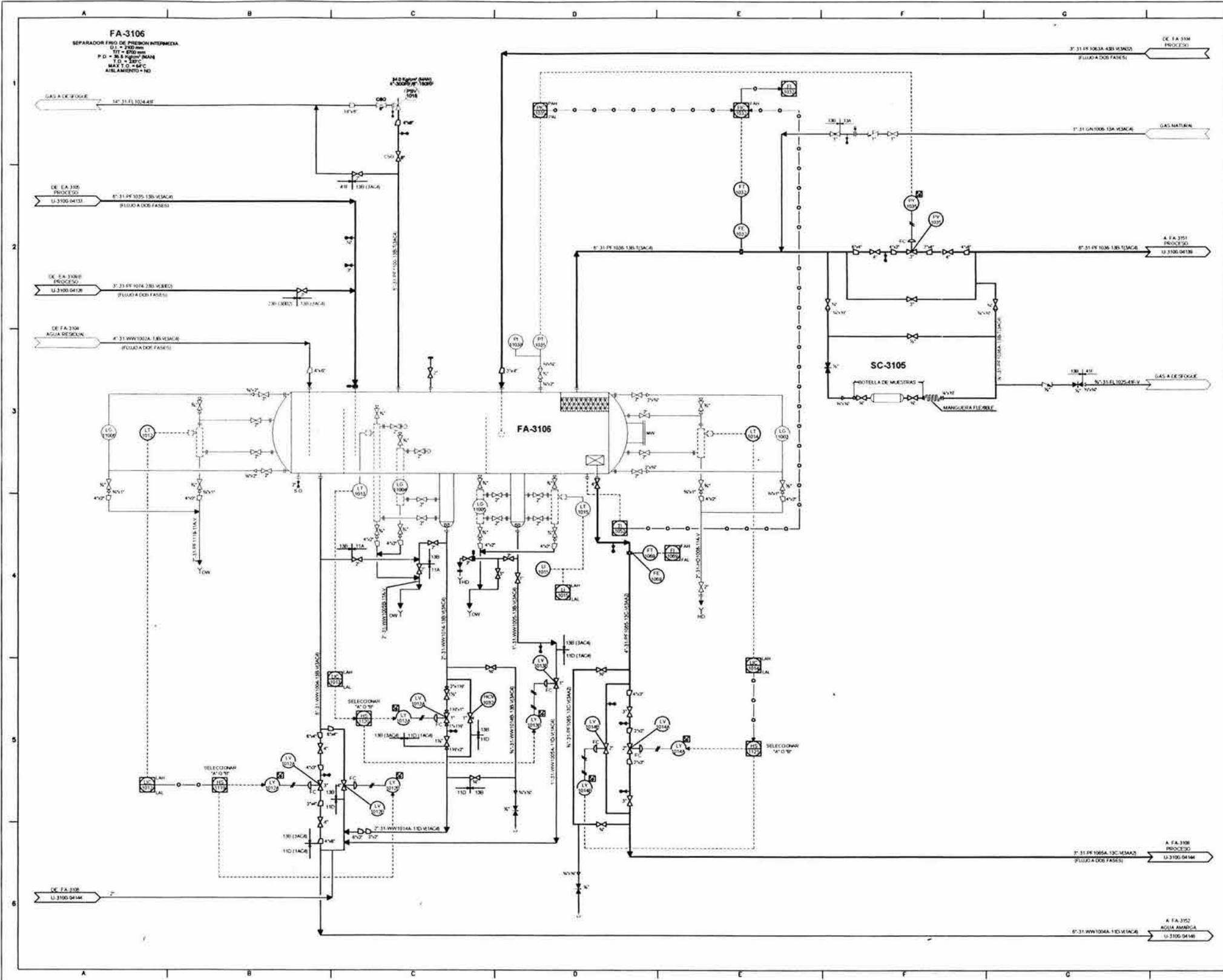
1. LA LISTA DE EQUIPOS SE PRESENTA EN EL DIAGRAMA DE HOJAS U-3100

EA-3104
 INTERCAMBIADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIALMENTACION A LA FRACCIONADORA
 Q = 1.61 MW (1000 HP)
 P.D. = 8 kg/cm² (118 PSI) TURBO 304, CORAZA 304
 T.S. = 7 °C TURBO 300, CORAZA 300
 MAX T.O. = 7 °C ENTRADA SALIDA TURBO 300/2, CORAZA 300/2
 AISLAMIENTO = 8"

EA-3105
 CONDENSADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA
 Q = 1.61 MW (1000 HP)
 P.D. = 8 kg/cm² (118 PSI) TURBO 304, CORAZA 304
 T.S. = 7 °C TURBO 300, CORAZA 300
 MAX T.O. = 7 °C ENTRADA SALIDA TURBO 300/2, CORAZA 300/2
 AISLAMIENTO = 8"



| NUMERO | DESCRIPCION DE REFERENCIA |
|--------------|--|
| U-3100-04132 | SEPARADOR CALIENTE DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04134 | SEPARADOR FRIJO DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04141 | SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION |
| U-3100-04142 | SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION |



NOTAS
1. LA LISTA DE EQUIPO SE PRESENTA EN EL DISEÑO DE PLANOS U-3100

| NUMERO | TIPO DE EQUIPO |
|--------------|--|
| U-3105-04126 | TANQUE FLASH DEL EF LUENTE DEL REACTOR |
| U-3105-04132 | INTERRUPTOR DE PRESION EN TRANSFERENCIA A LA FRACCIONADORA |
| U-3105-04138 | CONDENSADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3105-04144 | TANQUE FLASH DE PRESION INTERMEDIA CON DIA EMPLEADOR |
| U-3105-04148 | SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION |
| U-3105-04149 | TANQUE DE SEPARACION DE AGUA AMARCA |

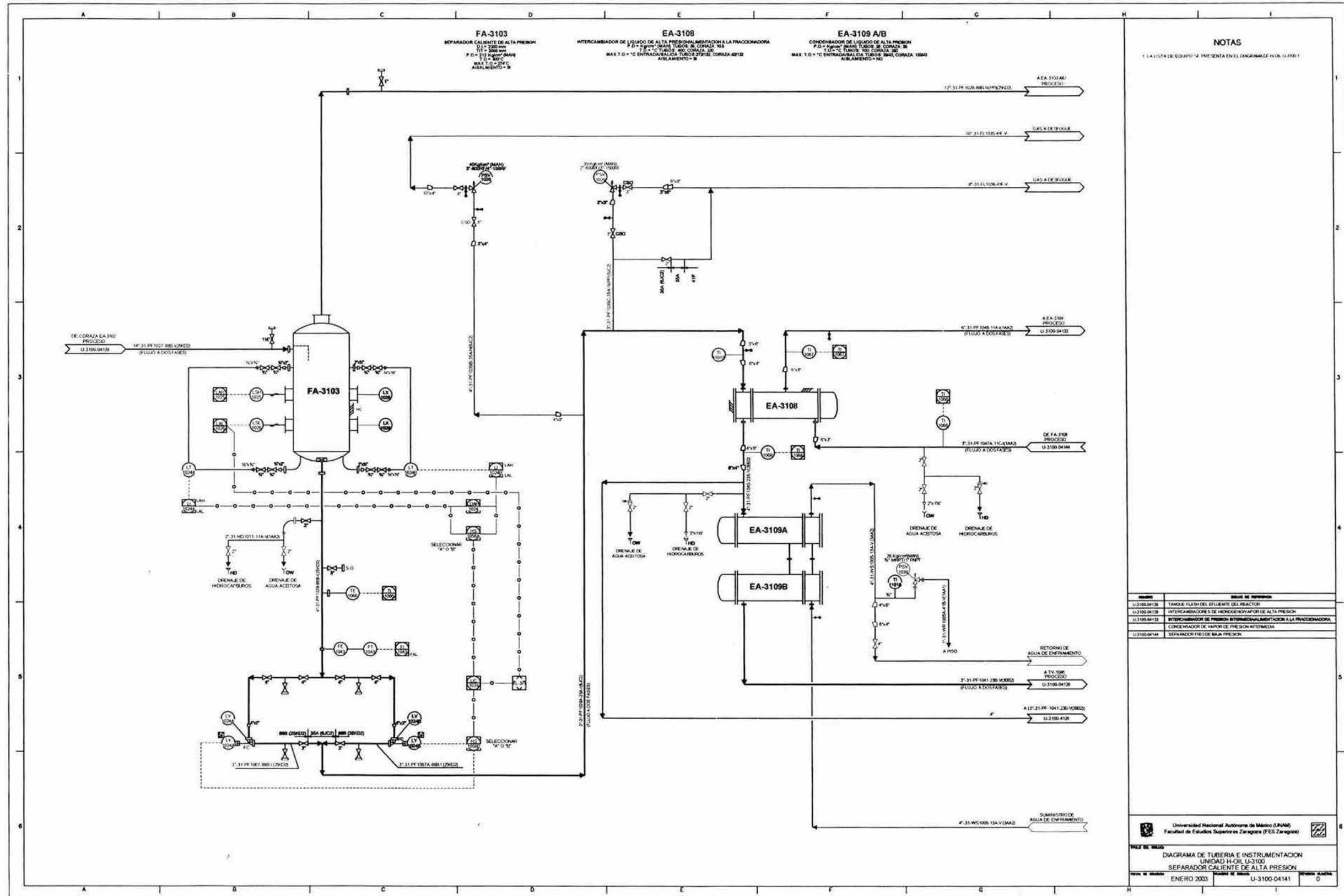
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza)

TIPO DE DISEÑO
 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 UNIDAD H-OIL U-3100
 SEPARADOR FRIO DE PRESION INTERMEDIA

FECHA DE DISEÑO
 ENERO 2003

NUMERO DE DISEÑO
 U-3100-04134

PROYECTO
 0



FA-3103
 SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION
 D.I. = 2200 mm
 P.D. = 3000 mm
 P.D. = 122 mm (CORAZA)
 T.D. = 80°C
 MAX T.D. = 224°C
 AISLAMIENTO = 8

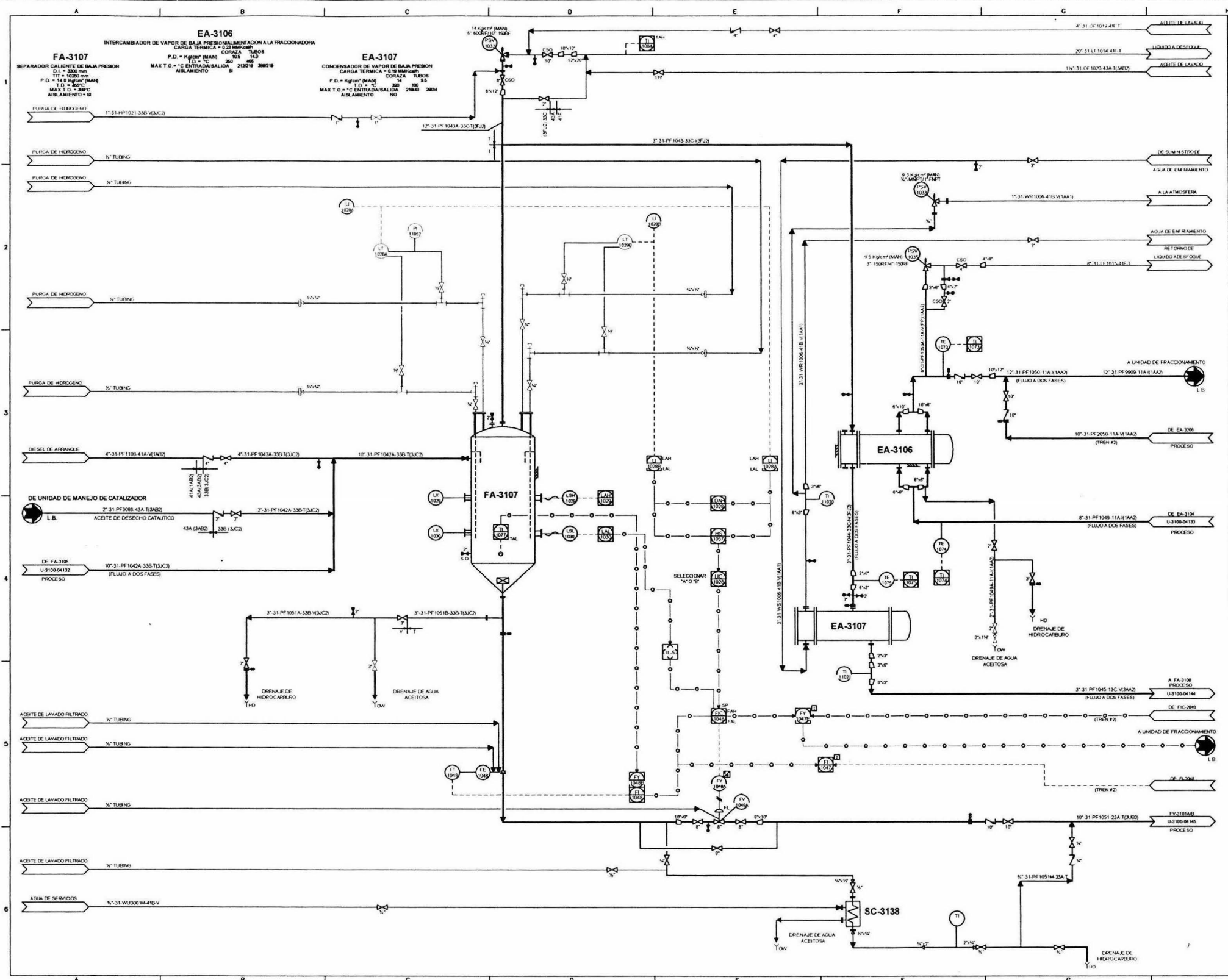
EA-3108
 INTERCAMBIADOR DE LIQUIDO DE ALTA PRESION A LA FRACCIONADORA
 P.D. = 1000 mm (CORAZA)
 T.D. = 1000 mm (CORAZA)
 MAX T.D. = 100°C ENTRADA Y SALIDA TUBOS 2" P.D. CORAZA 1000
 AISLAMIENTO = 8

EA-3109 A/B
 CONDENSADOR DE LIQUIDO DE ALTA PRESION
 P.D. = 1000 mm (CORAZA)
 T.D. = 1000 mm (CORAZA)
 MAX T.D. = 100°C ENTRADA Y SALIDA TUBOS 2" P.D. CORAZA 1000
 AISLAMIENTO = 8

NOTAS

1. LA LISTA DE EQUIPO SE PRESENTA EN EL DIAGRAMA DE FLUJO U-3100-1

| Numero | Unidad de Presion |
|--------------|---|
| U-3100-04128 | TANQUE FLASH DEL EFLENTE DEL REACTOR |
| U-3100-04129 | INTERCAMBIADORES DE HIDROCARBUROS DE ALTA PRESION |
| U-3100-04133 | INTERCAMBIADOR DE PRESION INTERMEDIALMENTACION A LA FRACCIONADORA |
| U-3100-04144 | CONDENSADOR DE VAPOR DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04141 | SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION |



| NOTAS | |
|---|--|
| 1. LA LISTA DE EQUIPO SE PRESENTA EN EL DIBUJANTE H-OIL U-3100. | |

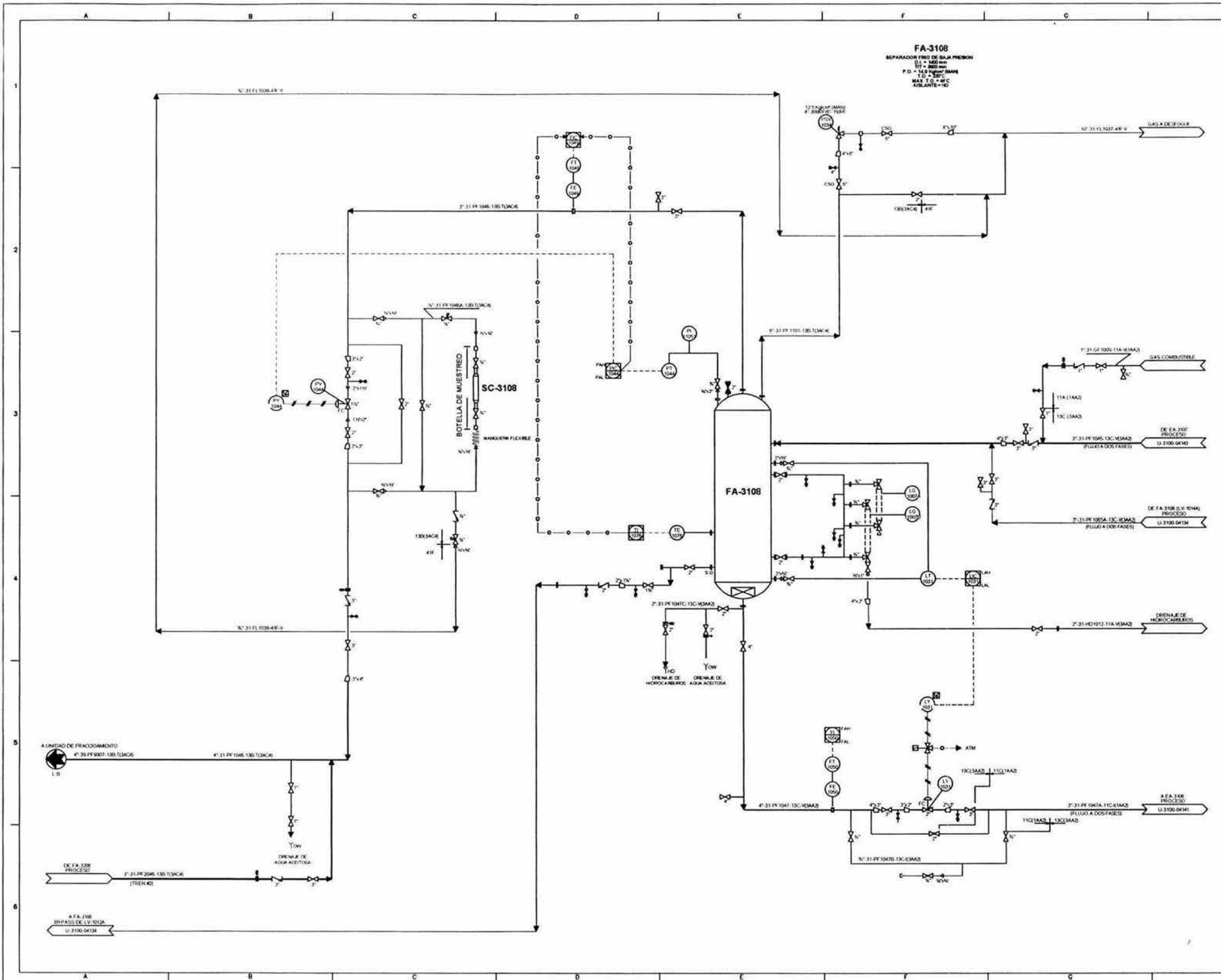
| NUMERO | UNIDAD DE REFERENCIA |
|--------------|--|
| U-3100-04132 | SEPARADOR CALIENTE DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04133 | INTERCAMBIADOR DE PRESION INTERMEDIAMENTE A LA FRACCIONADORA |
| U-3100-04144 | SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION |
| U-3100-04145 | FILTROS DE ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |

| NUMERO | UNIDAD DE REFERENCIA |
|--------------|--|
| A-FA-3107 | PROCESO |
| U-3100-04144 | SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION |
| U-3100-04145 | FILTROS DE ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA |

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

WILSON DEL ROSARIO
 DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 UNIDAD H-OIL U-3100
 SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION

FECHA DE REVISION: ENERO 2003
 FECHA DE DISEÑO: U-3100-04143
 REVISION NUMERO: 0



FA-3108
 SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION
 D.I. = 1400 mm
 T.T. = 3000 mm
 P.O. = 14.0 kg/cm² (MAN)
 T.O. = 20°C
 MAX T.O. = 40°C
 AISLANTE = 10

NOTAS

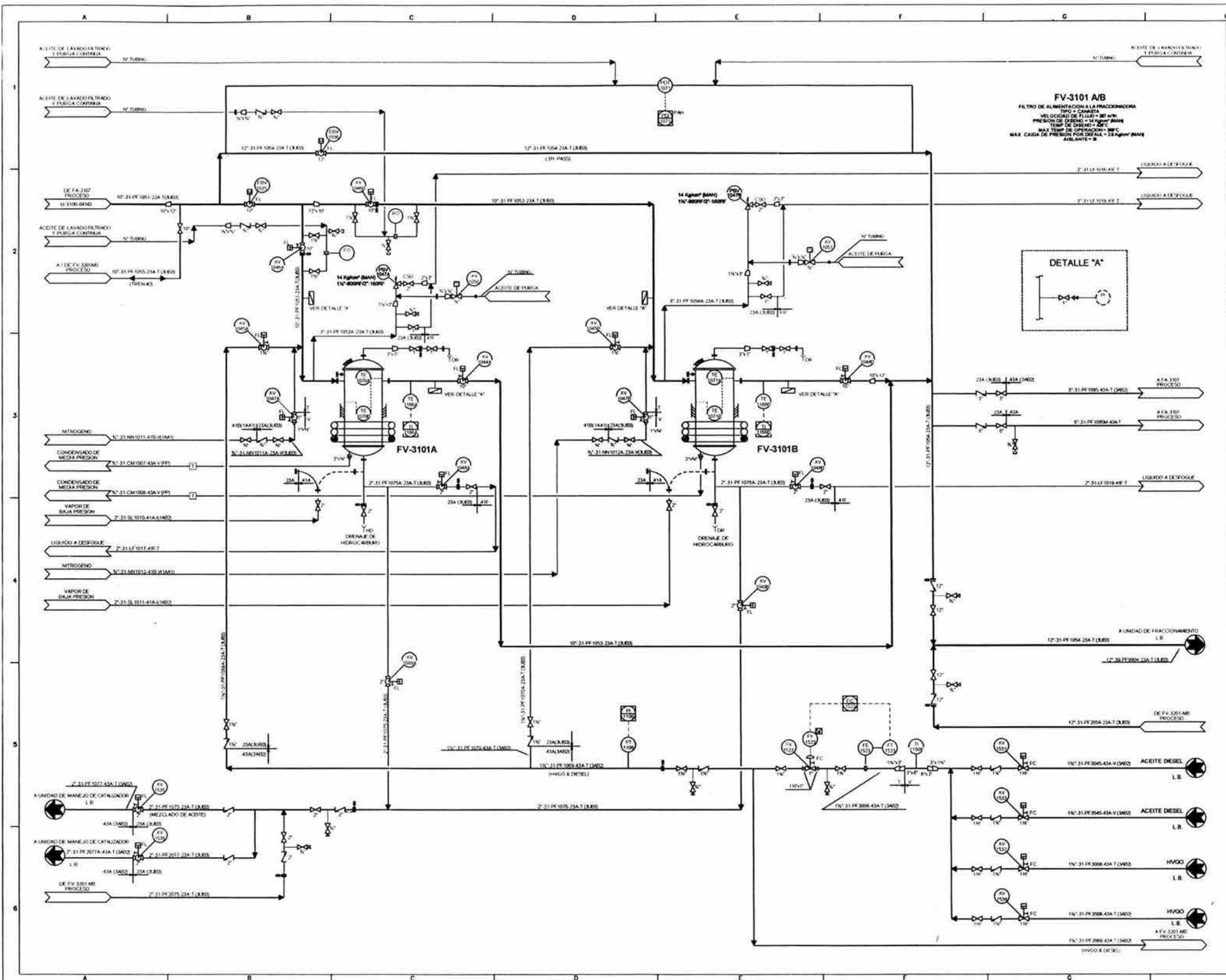
1. LA CUALIDAD DE EQUIPO SE PRESENTA EN EL ANEXO 1100-11001

| NUMERO | UNIDAD DE REFERENCIA |
|--------------|--------------------------------------|
| U-3100-04134 | SEPARADOR FRIO DE PRESION INTERMEDIA |
| U-3100-04141 | SEPARADOR CALIENTE DE ALTA PRESION |
| U-3100-04143 | SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION |

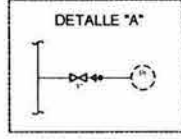
Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza)

TRAZO DE TUBERIA
DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION
 UNIDAD H-OIL U-3100
 SEPARADOR FRIO DE BAJA PRESION
 Febrero de 2003

| | | | | | |
|-------------------|------------|----------------------|--------------|-----------------|---|
| FECHA DE REVISION | ENERO 2003 | UNIDAD DE REFERENCIA | U-3100-04144 | REVISION NUMERO | 0 |
|-------------------|------------|----------------------|--------------|-----------------|---|



FV-3101 A/B
 FILTRO DE ALIMENTACION A LA FRACCIONADORA
 TIPO - CANASTA
 VELOCIDAD DE FLUJO = 20 m/h
 PRESION DE DISEÑO = 14 Kg/cm² ABS
 TEMP. DE OPERACION = 50°C
 MAX. CAIDA DE PRESION POR DETALLE = 28 Kg/cm² ABS
 AISLAMIENTO - B



NOTAS
 1. CALIDAD DE EQUIPO SE PRESENTA EN EL DIAGRAMA DE FOLIO U-3100

| NUMERO | TIPO DE REPRESION |
|--------------|------------------------------------|
| U-3100-04142 | SEPARADOR CALIENTE DE BAJA PRESION |

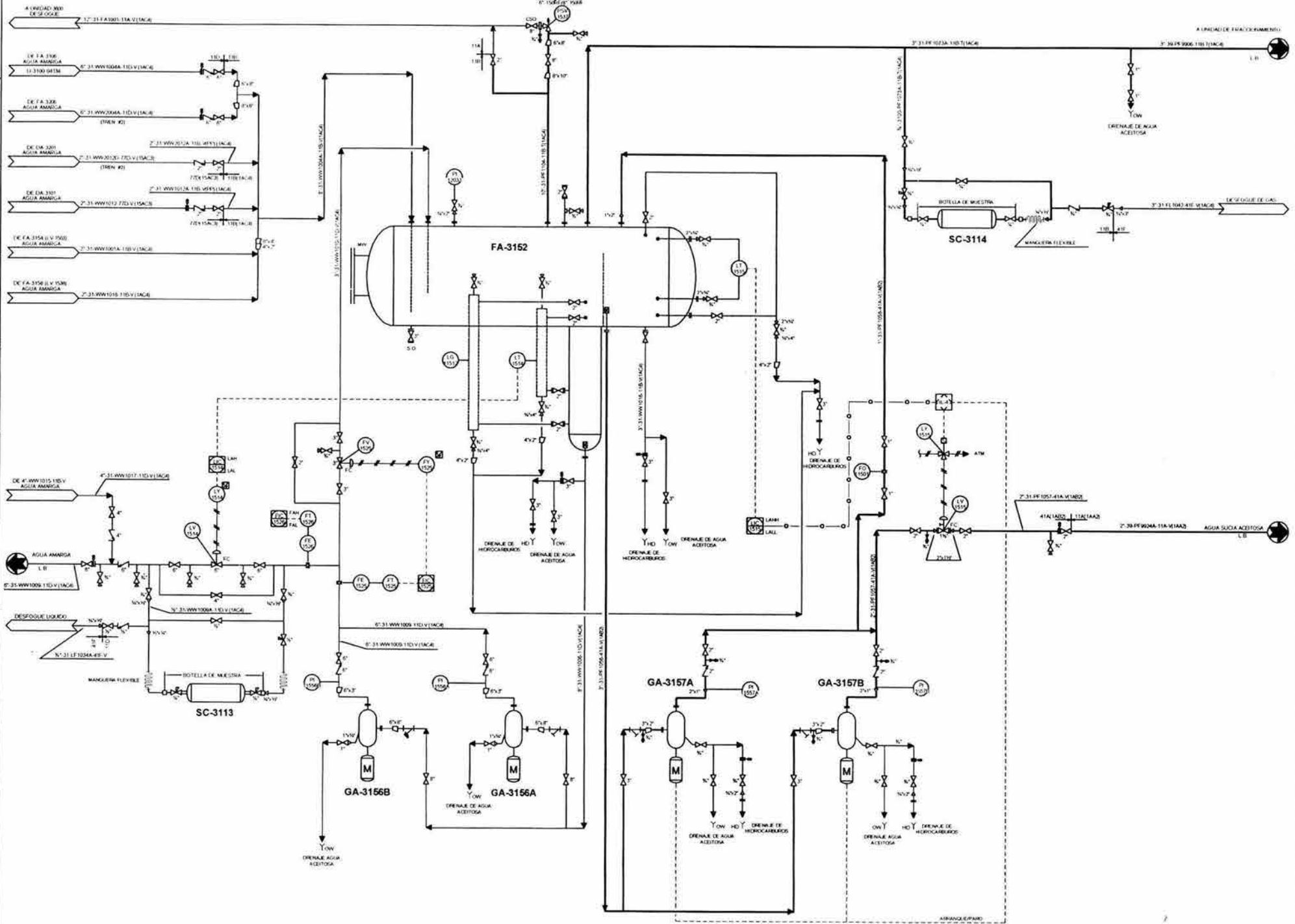
GA-3156 A/B
 BOMBA DE AGUA AMARGA
 CAPACIDAD DE CARGA = 18 m³/H
 DES. DIFF. HEAD = 80 M.C.L.
 P.D. = 2.1 kg/cm² (MAN)
 T. MAX. = 35°C
 PRES. SUC. = 1.0 kg/cm² (MAN)
 PRES. DESC. = 8.0 kg/cm² (MAN)
 RPM = 2820

FA-3152
 TANQUE DE AGUA AMARGA
 D1 = 200 mm
 D2 = 800 mm
 P.D. = 2.1 kg/cm² (MAN)
 T. MAX. = 35°C
 AISLAMIENTO = NO

GA-3157A/B
 BOMBA DE HIDROCARBURO ACETOSO
 CAPACIDAD DE CARGA = 18 m³/H
 DES. DIFF. HEAD = 80 M.C.L.
 P.D. = 2.1 kg/cm² (MAN)
 T. MAX. = 35°C
 PRES. SUC. = 1.0 kg/cm² (MAN)
 PRES. DESC. = 8.0 kg/cm² (MAN)
 RPM = 4200

NOTAS

ELABORADO POR: [] REVISADO POR: []



| | |
|------------------|---|
| PROYECTO | SEPARACION DE FASES EN EL TANQUE DE AGUA AMARGA |
| FECHA DE EMISION | ENERO 2003 |

| | |
|----------------------|---|
| UNIDAD DE REFERENCIA | SEPARACION DE FASES EN EL TANQUE DE AGUA AMARGA |
| FECHA DE EMISION | ENERO 2003 |

| | |
|--|---|
| UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO (UNAM) | Facultad de Estudios Superiores Zaragoza (FES Zaragoza) |
| DIAGRAMA DE TUBERIA E INSTRUMENTACION | |
| UNIDAD H-OIL U-3100 | |
| TANQUE DE SEPARACION DE AGUA AMARGA | |
| FECHA DE EMISION | ENERO 2003 |
| FECHA DE REVISION | 0 |
| UNIDAD DE REFERENCIA | U-3100-04148 |

